

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Alternativní zdroj energie pro rodinný dům
Alternative energy source for family house

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Tomáš Machů**
Studijní program: N2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika
Téma: **Alternativní zdroj energie pro rodinný dům**
Alternative energy source for family house
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Alternativní zdroje energie vhodné pro rodinné domy
2. Energetická bilance řešeného rodinného domu
3. Variantní návrh systému pro pokrytí spotřeby energie v domě
4. Ekonomické zhodnocení, návratnost investice do navrženého systému
5. Srovnání jednotlivých variant systému

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Bartoš, V.: Obnovitelné zdroje energií, Grada Publishing, Praha, 2010
2. Srdečný, K.: Energeticky soběstačný dům - realita, či fikce?, Brno, 2007
3. Petráš, D.: Nízkoteplotní vytápění a obnovitelné zdroje energie, Bratislava, 2008
4. Dufka, J.: Vytápění netradičními zdroji tepla, BEN – technická literatura, Praha, 2003.
5. Dufka J.: Vytápění domů a bytů, Grada Publishing, 2.vydání, Praha, 2004.
6. Murtinger, K.: Fotovoltaika : elektrická energie ze slunce, Praha, 2009
7. Navrátilová, J. M.: Kombinovaný systém vytápění a ohřevu teplé vody pro rodinný dům, Diplomová práce, Ostrava, 2010
8. Appel, J.: Využitelnost obnovitelných zdrojů v bytovém domě, Bakalářská práce, Ostrava, 2011
9. Rastočný, J.: Solární systémy pro obytné domy, Diplomová práce, Ostrava, 2013
10. Smoček, M.: Návrh vytápění rodinného domu tepelným čerpadlem, Diplomová práce, Ostrava, 2011
11. Šrámek, J.: Návrh vytápění rodinného domu tepelným čerpadlem, Diplomová práce, Ostrava, 2010
12. Vitovalor 300-P: palivočlávková mikrokogenerační jednotka pro obytné domy na evropském trhu [online], <http://www.proelektrotechniky.cz/inteligentni-budovy/28.php>

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Moldřík, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2016

Datum odevzdání: 28.04.2017

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry

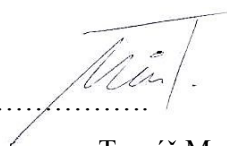


prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení o autorství diplomové práce:

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny použité literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 25.04. 2017



.....

Tomáš Machů

Poděkování:

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Petru Moldříkovi PhDr. za cenné rady, které mi poskytl.

Abstrakt:

Cílem této diplomové práce je seznámit se s problematikou vytápění pomocí alternativních zdrojů a porovnat je s konvenčním zdrojem tepla. V teoretické části se zaměřuji nejen na alternativní zdroje, ale také problematikou teplovodního a elektrického podlahového vytápění. V praktické části se zabývám zjištěním tepelné ztráty, a následně výpočtem potřeby tepla na vytápění a ohřevu vody pro rodinný dům. Poté jsou vybrány tři zdroje vytápění, z nichž jeden je zdrojem konvenčním a zbývající dva zdroji alternativním. Všechny tyto zdroje jsem mezi sebou porovnal a zjistil, který z nich je pro daný objekt nejvhodnější z ekonomického hlediska.

Klíčová slova:

Vytápění; alternativní zdroj; tepelná ztráta; podlahové vytápění; teplovodní podlahové vytápění; elektrické podlahové vytápění; tepelné čerpadlo; mikrokogenerační jednotka; investiční náklady; provozní náklady

Abstract:

The aim of this thesis is to get acquainted with the issue of heating using alternative sources and compare them with conventional heat source. In the theoretical part is focused not only on alternative heating, but also the problems of hot water and electrical floor heating. The practical part is focused on finding heat loss, and then calculating the demand for heating and hot water for the house. Then the selected three heating sources, one of which is a conventional source of power and two are alternative. All these sources I compared them and see which of is most suitable for a given object, from an economic point of view.

Key words:

Heating; Alternative sources; heat loss; underfloor heating; warm water underfloor heating; electric underfloor heating; heat pump; micro-CHP; capital cost; operating cost

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů.....	9
Seznam ilustrací a seznam tabulek	16
Úvod	18
2. Alternativní zdroje tepla.....	19
2.1. Solární energie.....	19
2.1.1. Pasivní systémy	19
2.1.2. Aktivní systémy.....	19
2.2. Energie biomasy	20
2.2.1. Přírodní podmínky a zpracování biomasy.....	21
2.2.2. Využití biomasy k vytápění	22
2.3. Tepelné čerpadlo	23
2.3.1. Princip tepelného čerpadla.....	23
2.3.2. Druhy tepelných čerpadel	24
2.3.3. Provoz tepelných čerpadel	26
3. Stirlingův motor	28
3.1. Princip motoru.....	28
3.2. Vlastnosti motoru	28
4. Kogenerace	30
4.1. Druhy kogeneračních technologií	30
4.1.1. Kogenerační jednotky se spalovacími motory	31
5. Podlahové vytápění	32
5.1. Elektrické podlahové vytápění	32
5.2. Teplovodní podlahové vytápění	33
6. Energetické bilance domu.....	35
6.1. Tepelná ztráta	35
6.2. Potřeba tepla pro teplovodní podlahové vytápění a TUV	37
6.3. Teplovodní podlahové vytápění	38

6.4.	Potřeba elektřiny.....	40
6.4.1.	Spotřeba osvětlovací soustavy	40
6.4.2.	Spotřeba elektrických spotřebičů	42
6.4.3.	Celková spotřeba elektrické energie	43
6.4.4.	Určení proudového zatížení domácnosti	43
7.	Návrh jednotlivých otopných systémů	45
7.1.	(a1) Elektrické podlahové vytápění	45
7.2.	(a2) Tepelné čerpadlo země/voda	47
7.2.1.	Bivalentní provoz	47
7.2.2.	Spotřeba energií na vytápění a ohřev TUV	48
7.3.	(a3) Mikrokogenerační jednotka.....	53
7.3.1.	Spotřeba energií na vytápění a ohřev TUV	54
7.3.2.	Akumulace a potřeba elektřiny z mikrokogenerační jednotky	55
7.3.3.	Celková spotřeba plynu a elektrické energie.....	57
8.	Ekonomické zhodnocení	58
8.1.	(a1) Elektrické podlahové vytápění	58
8.1.1.	Investiční náklady.....	58
8.1.2.	Provozní náklady	59
8.2.	(a2) Tepelné čerpadlo země/voda	61
8.2.1.	Investiční náklady.....	62
8.2.2.	Provozní náklady	62
8.3.	(a3) Mikrokogenerační jednotka.....	64
8.3.1.	Investiční náklady.....	64
8.3.2.	Provozní náklady	64
9.	Porovnání všech variant.....	68
9.1.	Celkové náklady na zdroje energie	69
Závěr		71
Použitá literatura		73

Seznam příloh.....	1
Příloha 1: Schéma teplovodního podlahového vytápění – 1.NP	2
Příloha 2: Schéma teplovodního podlahového vytápění – 2.NP	3
Příloha 3: Schéma elektrického podlahového vytápění – 1.NP	4
Příloha 4: Schéma elektrického podlahového vytápění – 2.NP	5
Příloha 5: Půdorys rodinného domu – 1.NP	6
Příloha 6: Půdorys rodinného domu – 2.NP	7
Příloha 7: Paralelní provoz sítě s akumulátorem proudu u varianty a3 [22]	8

Seznam použitých zkratk a symbolů

A	Ampér
Ah	Ampérhodina
A_i	podlahová plocha (m^2)
A_o	plocha průsvitné konstrukce (m^2)
C_j	cena dle jističe (Kč/měsíc)
C_s	cena dle spotřeby (Kč/MWh)
CN	Celkové náklady na danou soustavu (Kč)
CO	oxid uhličitý
$\cos \varphi$	účinník (-)
c	měrná tepelná kapacita vody ($J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$)
c_a	měrná tepelná kapacita akumulární vrstvy ($J/(kg \cdot K)$)
cm	centimetr
$ČR$	Česká republika
$ČSN$	Česká technická norma
D	počet denostupňů (Kelvin-dny)
DO	obvodové dveře
DV	vnitřní plné dveře
d	počet topných dnů (den)
d_a	tloušťka akumulární vrstvy (m)
d_{bb}	průměrný počet dnů pod bivalentní bod (den)
d_{dyn}	přirážka na dynamiku (-)
d_i	rozteč potrubí a topných kabelů (m)
d_s	šířka neprůsvitné konstrukce – stěna, podlaha, strop, střecha (m)
$d_{TČ3}$	počet dní během tepelného výkonu P_{t3} pokrývaný elektrickou patronou (den)
$d_{TČ4}$	počet dní během tepelného výkonu P_{t4} pokrývaný elektrickou patronou (den)
E	roční spotřeba elektrické energie daného zdroje tepla a rodinného domu (kWh)
E_{ap}	kapacita akumulátoru proudu (kWh)
$E_{d,ES}$	denní spotřeba elektrické energie spotřebičů (Wh)
$E_{d,OSV}$	denní spotřeba elektrické energie osvětlení (Wh)
$E_{d,OSV}$	denní spotřeba elektrické energie osvětlení (Wh)
$E_{d,S}$	denní spotřeba elektrické energie rodinného domu (Wh)
$E_{d,TUV}$	denní potřeba elektrické energie na ohřev TUV u varianty a1 (kWh)
E_{dpl}	doplňující pokrytí elektrické energie pro variantu a3 (kWh)

E_{elk}	spotřeba elektrické energie elektrokotlem (kWh)
E_{nev}	spotřeba elektrické energie rodinného domu při nevytápění (kWh)
$E_{oč,n}$	spotřeba elektrické energie oběhového čerpadla při nevytápění (kWh)
$E_{oč,v}$	spotřeba elektrické energie oběhového čerpadla při vytápění (kWh)
E_{po}	spotřeba elektrické energie primárního okruhu tepelného čerpadla (kWh)
E_r	roční spotřeba elektrické energie daného zdroje tepla (kWh)
$E_{r,ES}$	roční spotřeba elektrické energie spotřebičů (kWh/rok)
$E_{r,mj}$	spotřeba elektrické energie mikrokogenerace (kWh/rok)
$E_{r,OSV}$	potřeba elektrické energie osvětlení (kWh/rok)
$E_{r,S}$	roční spotřeba elektrické energie daného objektu (kWh/rok)
$E_{r,TUV}$	potřeba elektrické energie na ohřev TUV u varianty a1 (kWh/rok)
$E_{r,vyt}$	potřeba elektrické energie při vytápění varianta a1 (kWh/rok)
E_{reg}	spotřeba elektrické energie regulátoru u varianty a1 (kWh/rok)
E_{reg1}	spotřeba elektrické energie regulátoru Danfoss FT (kWh)
E_{reg2}	spotřeba elektrické energie regulátoru Danfoss Link RS (kWh)
$E_{TČ}$	celková spotřeba elektrické energie pro tepelné čerpadlo (kWh/rok)
$E_{TČ,p}$	spotřeba elektrické energie pro čerpadla, ohřev TUV a vytápění (kWh/rok)
$E_{TUV,el}$	spotřeba elektrické energie elektrické patrony 6 kW (kWh)
$E_{TUV,n}$	spotřeba elektrické energie oběhového čerpadla při nevytápění (kWh)
$E_{TUV,TČ3}$	spotřeba elektrické energie na ohřev TUV mezi -5 a – 8 °C (kWh)
$E_{TUV,TČ4}$	spotřeba elektrické energie na ohřev TUV mezi -8 a – 12 °C (kWh)
E_{vyt}	spotřeba elektrické energie rodinného domu při vytápění (kWh)
EN	evropská norma
Hz	Hertz
hod	hodin
h	hodin
I	elektrický proud při soudobosti (A)
I_{40}	hodnota jmenovitého elektrického proudu hlavního jističe (A)
I_{50}	hodnota jmenovitého elektrického proudu hlavního jističe (A)
I_{epv}	elektrický proud při soudobém zatížení při elektrickém podlahovém vytápění (A)
I_S	elektrický proud při maximálním zatížení (A)
$I_{tč}$	elektrický proud při maximálním soudobém zatížení pro tepelné čerpadlo (A)
k	součinitel na ztrátu toku tepla směrem dolů (-)
Kč	korun českých
ks	kus

kW	kilowatt
kWh	kilowatthodin
L_3	počet fází (-)
l_i	délka topných kabelů (m)
l_{pot}	délka potrubí (m)
M_h	průtok (kg/h)
m	metr
mm	milimetr
N_{El}	provozní náklady na elektrickou energii (Kč)
N_I	investiční náklady (Kč/rok)
N_P	provozní náklady (Kč/rok)
N_{Pdl}	investiční náklady na teplovodní podlahové vytápění (Kč)
N_{Plyn}	provozní náklady na plyn (Kč)
NOx	oxidy dusíku
NT	nízký tarif (kWh/rok)
n	počet osob (-)
n_{12}	počet měsíců v roce (-)
n_p	intenzita výměny vzduchu (h^{-1})
OT	operátor trhu s plynem nebo elektřinou (Kč)
OK	okno
P	dodaný elektrický výkon (W)
$P_{el,tuv}$	elektrický příkon ohřívače TUV (W)
P_{elk}	elektrický příkon elektrokotle (W)
P_{epv}	elektrický příkon elektrického podlahového vytápění (W)
P_i	instalovaný příkon (W)
P_{mj}	vyrobený elektrický příkon mikrokogenerační jednotky (kW)
$P_{o\check{c}}$	elektrický příkon oběhového čerpadla mikrokogenerační jednotky při nevytápění (kW)
$P_{o\check{c},v}$	elektrický příkon oběhového čerpadla mikrokogenerační jednotky při vytápění (kW)
P_{po}	elektrický příkon primárního okruhu tepelného čerpadla (kW)
P_s	celkový soudobý elektrický příkon (W)
P_{sp}	celkový elektrický příkon všech elektrických spotřebičů (W)
P_{sv}	celkový elektrický příkon všech svítidel (W)
P_{TUV}	tepelný výkon pro ohřev TUV (kW)
P_{tl}	tepelný výkon do -2 °C (kW)
P_{t2}	tepelný výkon mezi -2 a -5 °C (kW)

P_{t3}	tepelný výkon mezi -5 a -8 °C (kW)
P_{t4}	tepelný výkon mezi -8 a -12 °C (kW)
$P_{t\check{c}}$	elektrický výkon tepelného čerpadla při -15 °C (W)
$P_{t\check{c},tuv}$	elektrický výkon elektrické patrony u tepelného čerpadla (W)
P_{tel}	tepelný výkon elektrokotle (kW)
P_{th}	tepelný výkon stirlingova motoru při nevytápění pro variantu a3 (kW)
PDL	podlaha parkety
PDLk	podlaha keramická dlažba
PDLe	podlaha elektrického podlahového vytápění
POZE	Podpora elektřiny z podporovaných zdrojů energie
$POZE_j$	Cena POZE dle jističe (Kč/rok)
$POZE_s$	Cena POZE dle spotřeby (Kč/rok)
p	měrný příkon (W/m ²)
p_k	hodnota měrného zatížení topného kabelu (W/m)
Q_{aku}	potřeba tepla akumulární nádrže během nevytápění (kWh)
Q_{up}	potřeba plynu na elektrickou energii během nevytápění (kWh)
Q_c	tepelná ztráta místnosti (W)
Q_{el}	Celková spotřeba plynu pokrytá stirlingovým motorem na elektrickou energii (kWh)
$Q_{mj,r}$	primární energie pro mikrokogeneraci (kWh/rok)
Q_p	potřeba tepla (W)
$Q_{p,r}$	celková spotřeba plynu u varianty a3 (kWh/rok)
Q_r	roční potřeba tepla na vytápění a ohřev TUV (kWh)
Q_{th}	potřeba plynu pro stirlingův motor během nevytápění (kWh)
$Q_{TUV,d}$	denní potřeba tepla pro ohřev TUV (kWh/den)
$Q_{TUV,mj}$	potřeba plynu pro TUV varianta a3 (kWh)
$Q_{TUV,n}$	potřeba tepla pro ohřev TUV při nevytápění varianta a3 (kWh)
$Q_{TUV,r}$	potřeba tepla pro ohřev TUV (kWh/rok)
$Q_{v,r}$	potřeba plynu pro vytápění (kWh)
$Q_{vyt,mj}$	spotřeba plynu pro vytápění u varianty a3 (kWh/rok)
$Q_{vyt,r}$	potřeba tepla pro vytápění (kWh/rok)
R^*l+z	celková tlaková ztráta (Pa)
Resp.	respektive
S_p	otopná plocha (m ²)
SCH	Střecha
SCOP	průměrný topný faktor (-)

SO	vnější stěna
STR	Stropy v druhém podlaží
SV	vnitřní stěna
SyS	Systémové služby (Kč)
T	celková doba provozu (24 hodin)
tzn.	To znamená
t_{ap}	doba nabíjení akumulátoru pro kapacitu 5,5 kWh při nevytápění (hod)
t_{apl}	doba nabíjení akumulátoru pro kapacitu 5,5 kWh při vytápění (hod)
t_{dpl}	doba potřeby elektrické energie pro doplňkové pokrytí při nevytápění (hod)
t_{dpll}	doba potřeby elektrické energie pro doplňkové pokrytí při vytápění (hod)
t_n	doba nabíjení ($t_Z + t_D$) základní + doplňková doba nabíjení (h)
$t_{tuv,1r}$	doba oběhového čerpadla TUV při vytápění, varianta a3 (hod)
$t_{tuv,2r}$	doba oběhového čerpadla TUV kdy se nevytápí, varianta a3 (hod)
$t_{tuv,bb}$	doba ohřevu TUV při bivalentním bodu u varianty a2 (h/den)
$t_{tuv,d}$	doba oběhového čerpadla TUV (h/den)
$t_{TUV,leto}$	doba oběhového čerpadla TUV, kdy se nevytápí (hod)
$t_{mj,r}$	doba oběhového čerpadla pro mikrokogeneraci (hod)
$t_{tuv,n}$	doba oběhového čerpadla TUV během nevytápěcí doby (hod)
$t_{tuv,r}$	doba oběhového čerpadla TUV (h/rok)
$t_{tuv,TČ1}$	doba oběhového čerpadla TUV do -2 °C (hod)
$t_{tuv,TČ2}$	doba oběhového čerpadla TUV mezi -2 a -5 °C (hod)
$t_{tuv,TČ3}$	doba oběhového čerpadla TUV mezi -5 a -8 °C (hod)
$t_{tuv,TČ4}$	doba oběhového čerpadla TUV -8 a -12 °C (hod)
$t_{tuv,tel}$	doba oběhového čerpadla TUV při -15 °C (hod)
$t_{TUV,vyt}$	doba oběhového čerpadla TUV během vytápění (hod)
TUV	teplá užitková voda
U	jmenovité sdružené napětí (V)
U	součinitel prostupu tepla ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)
V	Volt
V_d	potřeba teplé vody pro 4 lidi (m^3)
V_i	objem místnosti (m^3)
$V_{min,i}$	hygienický minimální objemový tok vzduchu vytápěného prostoru (m^3)
VT	vysoký tarif (kWh/rok)
W	Watt
W/m	Watt/metr

w	rychlost proudění (m/s)
z	koeficient energetických ztrát (-)
ZP_d	Pevná cena za odebraný zemní plyn (cena distribuce) (Kč)
ZP_p	cena za odebraný zemní plyn (Kč)
Δt	teplotní spád (K)
ε	opravný součinitel nesoučasnosti tepelné ztráty infiltrací (-)
θ_1	teplota studené vody (°C)
θ_2	teplota ohřáté vody (°C)
θ_e	výpočtová venkovní teplota (°C)
θ_{es}	průměrná venkovní teplota během otopného období (°C)
θ_i	výpočtová vnitřní teplota (°C)
θ_{p-z}	teplota přívodu a zpátečky vytápění (°C)
θ_{pdl}	teplota podlahy (°C)
η_{aku}	účinnost akumulčního zásobníku varianty a3 (-)
η_{ap}	účinnost akumulátoru (-)
η_{elk}	roční pokrytí tepla elektrokotlem (%)
η_o	účinnost obsluhy, regulace soustavy (-)
η_r	účinnost rozvodu vytápění (-)
η_{mj}	účinnost mikrokogenerace (-)
η_{TUV}	účinnost zásobníku na TUV (-)
$\eta_{T\check{C}}$	roční pokrytí tepla tepelným čerpadlem (%)
η_{srl}	účinnost stirlingova motoru (-)
η_{vyb}	využitelnost akumulátoru (-)
Λ_1	tepelná propustnost od roviny uložení kabelů směrem nahoru (W/(m ² ·K))
Λ_2	tepelná propustnost od roviny uložení kabelů směrem dolů (W/(m ² ·K))
ρ	měrná hmotnost (kg/m ³)
ρ_a	měrná hmotnost akumulční vrstvy (kg/m ³)
Φ	celková tepelná zátěž objektu (kW)
Φ_{elk}	tepelná ztráta hrazená elektrokotlem (kW)
Φ_{epv}	tepelný výkon hrazen elektrickým podlahovým vytápěním (kW)
Φ_i	celkový instalovaný výkon zóny (W)
Φ_{io}	celkový výkon topné zóny (W)
Φ_o	tepelný výkon okruhu (W)
Φ_T	tepelná ztráta konstrukce (W)
Φ_{TUV}	dodatečná tepelná zátěž objektu k vyhřátí TUV (kW)

$\Phi_{iv,-15}$	tepelná výkon tepelného čerpadla při -15°C (kW)
Φ_V	tepelná ztráta větráním (W)
Φ_{zpb}	tepelná ztráta pokrytá elektrokotlem (kW)
Φ_Z	celková tepelná ztráta domu (W)
τ_a	míra akumulace (h)

Seznam ilustrací a seznam tabulek

Obr. 2.1: Solární systém [13]	20
Obr. 2.2: Koloběh vzniku biomasy [19]	21
Obr. 2.3: Využití biomasy [18].....	23
Obr. 2.4: Princip tepelného čerpadla [1].....	24
Obr. 2.5: Průběh teploty v neporušené zemi v závislosti na hloubce a ročním období [28].....	25
Obr. 2.6: Tepelné čerpadlo země/voda s geotermálním vrtem [1]	26
Obr. 2.7: Provoz tepelného čerpadla v bivalentním provozu [1]	27
Obr. 4.1: Princip kogenerace [5]	30
Obr. 4.2: Toky energií u kogenerační jednotky se spalovacím motorem [4]	31
Obr. 5.1: Způsoby pokládání teplovodního podlahového vytápění [11].....	34
Obr. 7.1: Určení bivalentního bodu	48
Obr. 7.2: Schéma vnitřního zapojení tepelného čerpadla [26]	51
Obr. 7.3: Topný faktor během roku	53
Obr. 7.4: Vnitřní schéma mikrokogenerační jednotky Vitotwin 300-W [22]	54
Obr. 9.1: Náklady na jednotlivé varianty zdrojů tepla	68
Obr. 9.2: Náklady na jednotlivé varianty zdrojů tepla, včetně teplovodního podlahového vytápění	69
Obr. 9.3: Celkové náklady za 20 let	70
Tab. 2.1: Využití biomasy v našich podmínkách.....	22
Tab. 2.2: Základní technologie zpracování a přípravy biomasy ke spalování.....	22
Tab. 6.1: Vlastnosti průsvitné konstrukce budovy.....	35
Tab. 6.2: Vlastnosti neprůsvitné konstrukce budovy.....	35
Tab. 6.3: Tepelná ztráta budovy při teplovodním podlahovém vytápění	36
Tab. 6.4: Tepelná ztráta budovy při elektrickém podlahovém vytápění	37
Tab. 6.5: Vlastnosti teplovodního podlahového vytápění.....	39
Tab. 6.6: Cena teplovodního podlahového vytápění.....	40
Tab. 6.7: Denní spotřeba osvětlovací soustavy.....	41
Tab. 6.8: Denní spotřeba elektrických spotřebičů	42
Tab. 6.9: Předpokládaný soudobý příkon	43
Tab. 7.1: Vlastnosti elektrického podlahového vytápění	46
Tab. 7.2: Vlastnosti tepelného čerpadla.....	47
Tab. 7.3: Meteorologické údaje [27]	49
Tab. 7.4: Parametry mikrokogenerační jednotky Vitotwin 300-W [22]	53

Tab. 8.1: Cena elektrického podlahového vytápění	58
Tab. 8.2: Ceník E-ON pro sazbu D57d pro variantu a1 [29]	59
Tab. 8.3: Celkové provozní náklady pro elektrické podlahové vytápění	61
Tab. 8.4: Cena produktu NIBE F1226-12	62
Tab. 8.5: Ceník E-ON pro sazbu D57d pro variantu a2 [29]	62
Tab. 8.6: Celkové provozní náklady pro NIBE F1226-12	63
Tab. 8.7: Cena mikrokogenerační jednotky	64
Tab. 8.8: Ceník E-ON pro sazbu D01d pro mikrokogenerační jednotku [29]	65
Tab. 8.9: Provozní náklady na elektrickou energii pro mikrokogenerační jednotku	65
Tab. 8.10: Ceník plynu od firmy Europe Easy Energy [31]	66
Tab. 8.11: Provozní náklady za plyn	66

Úvod

Úplně prvním zdrojem tepla bylo pro člověka slunce. Problém nastal tehdy, když přišla zima, a slunce nedodávalo tolik potřebného tepla. Poté člověk mohl využít k zahřátí jeden ze čtyř živlů a zároveň nejpřirozenější zdroj tepla, čímž byl oheň. I teď je tento živel velmi důležitý v našem životě a pomáhá vytápět naše byty či domy.

Nejčastějším a zřejmě i taky prvním palivem resp. primárním zdrojem bylo dřevo. Toto palivo přirozeně získáváme ze stromů. Na světě se nachází v obrovských množstvích a poměrně rychle se obnovují. Bohužel neblaze přispívají ke klimatickým změnám. Dalším primárním zdrojem jsou fosilní paliva, kde patří uhlí. V našich končinách je hojně využívána, díky jeho dobré dostupnosti. Bohužel ale toto palivo produkuje značné množství emisí jako oxid uhličitý, oxidy dusíku a také oxidy síry. Samozřejmě nové technologie tyto nedokonalosti do jisté míry omezí. Velkým problémem těchto fosilních paliv je, že jednoho dne mohou dojít. I proto se člověk snaží najít alternativní zdroj energie, který by byl čistší, člověku lehce dostupný a pokud možno i levný z hlediska koupi zdroje a provozu. Mezi alternativní zdroje patří například tepelné čerpadlo, které odebírá nízkopotenciální teplo neboli energii z prostředí. Toto teplo je získáváno například ze vzduchu, země nebo vody. Velkou výhodou je, že z malého tepelného výkonu, který je obsažen ve vzduchu, zemi, či vodě, lze získat až šestinásobně větší tepelný výkon. Tepelná čerpadla se mohou provozovat i jako klimatizace. Dalším a poměrně neznámým zdrojem je tzv. mikrokogenerační jednotka. Mezi velké výhody je, že vyrábí zároveň teplo a elektrickou energii, čímž se zvyšuje její účinnost. Dalšími alternativními zdroji tepla mohou být i kotle na pelety. Často se k vytápěcím soustavám přidává i solární systém, jež nejčastěji ohřívá teplou vodu, hlavně v létě. Velmi důležitým faktorem je i výběr vytápěcí soustavy. Můžeme si vybrat mezi tradičním radiátorovým, nebo ještě před lety pro nás neznámý, ale nyní zažívající velkou expanzi, a to podlahové vytápění. Dále existují i tzv. stěnové vytápění.

V této diplomové práci budu řešit problematiku vytápění a snažit se čtenáři pomoci zjistit, který ze zdrojů tepla je pro daný objekt výhodný. Pro daný objekt jsem vybral dva alternativní a jeden konvenční zdroj. Těmi alternativními zdroji jsou Tepelné čerpadlo země/voda a mikrokogenerační jednotka; konvenčním je elektrické podlahové vytápění.

2. Alternativní zdroje tepla

Jelikož tradiční zdroje tepla nejsou nevyčerpatelné, je lidstvo vybízeno k hledání jiných zdrojů tepla, které mohou být levnější a čistší. Mezi tyto zdroje patří solární energie, energie biomasy a energie prostředí resp. tepelná čerpadla, u nichž může být zdrojem tepla vzduch, voda a země. Důležitou otázkou je, jestli se jedná o novostavbu nebo starší dům. U novostaveb se díky novým technologiím může jednat o dům nízkoenergetický. To znamená, že se může použít dobře regulovatelný zdroj tepla o nízkém výkonu. Další otázkou je, jakou vytápěcí soustavu použiju, tedy například radiátorové, podlahové nebo stropní. Pokud použiju radiátorovou soustavu, musím počítat s tím, že teplota přírodní vody do radiátoru bude určitě vyšší než u podlahového vytápění. [12]

2.1. Solární energie

Veškerá spotřeba primárních zdrojů energie v ČR odpovídá sluneční energii, která za rok dopadne na pouhých 350 km². To je asi desetina plochy, na které dnes pěstujeme řepku, nebo která byla v šedesátých letech osázena brambory. Sluneční energie je tedy více než dost. Při využívání sluneční energie narážíme na dva problémy: skladovatelnost a účinnost. Sluneční energii lze výborně skladovat v biomase, účinnost je zde ovšem velmi nízká - jedno procento i méně. Naopak vysoké účinnosti lze dosáhnout při výrobě tepla (termální kolektory) i elektřiny (fotovoltaika), ale zde je drahá akumulace zachycené energie. [14]

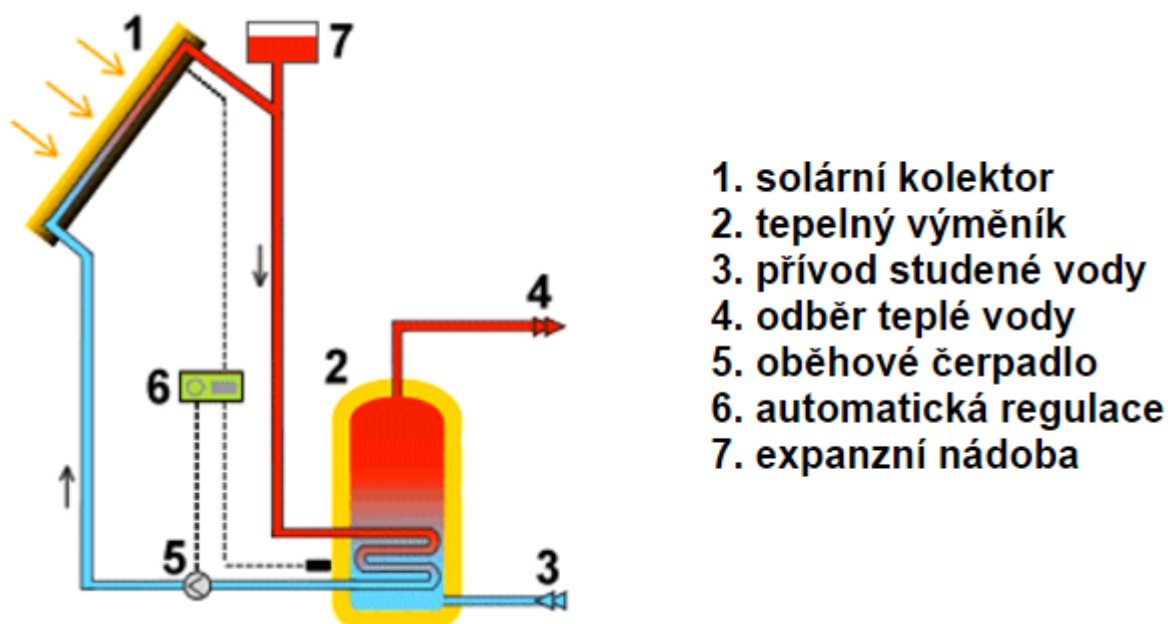
2.1.1. Pasivní systémy

Výhodou pasivních systémů je to, že k provozu nepotřebují žádné další zařízení. Využívá se sluneční záření, které dopadne do interiéru okny nebo jiným prosklením. Systém je třeba navrhnout tak, aby byly zisky co nejlépe využity (např. cirkulací teplého vzduchu z osluněných místností do ostatních částí domu). Výhodnější jsou tzv. těžké budovy, které umožňují krátkodobou akumulaci přebytků do vlastní konstrukce. Důležitá je i volba typu vytápěcího systému a jeho dobrá regulace, aby se dům nepřehříval. Velmi důležité je navržení tepelné zátěže tak, aby v létě nedocházelo k přehřívání objektu. [14]

2.1.2. Aktivní systémy

Aktivní systémy je téměř vždy možné dodatečně instalovat na stávající budovu. Využívají se zejména k celoroční přípravě teplé vody, ohřevu bazénu a k přitápění. Získanou energii je možné i dlouhodobě akumulovat v zásobnících (vodních, šterkových...). Čím delší je doba akumulace, tím bývá systém dražší a tudíž méně ekonomický. Proto se nejčastěji používá krátkodobá akumulace (několikadenní) spolu s pružnými topnými systémy, které sníží výkon okamžitě, jsou-li v

místnosti solární zisky prosklením. Pro krátkodobou akumulaci se využívá obvykle beztlaková vodní nádrž (tlakové nádoby jsou dražší). Solární systémy mohou být i teplovzdušné. V tomto případě nehrozí zamrzání nebo vyvaření média a teplý vzduch z kolektorů lze přivádět přímo do místností. Systém pracuje s nižšími teplotami, čímž roste účinnost. Nevýhodou je potřeba silnějších potrubí a hluk ventilátorů, který se může šířit do místností. Akumulace je zde mnohem obtížnější než u kapalinových systémů. Na obrázku (viz. Obr. 2.1) je vidět složení solárního systému. Jedná se o dvouokruhový kapalinový solární systém pro celoroční vytápění. V tomto systému se k přenosu tepla z kolektoru do výměníku používá nemrznoucí kapalina. V tepelném výměníku předává nemrznoucí kapalina stěnami měděného "hada" teplo ohřívané užitkové vodě. Cirkulaci teplotnosné kapaliny v hermeticky uzavřeném okruhu zajišťuje oběhové čerpadlo. Expanzní nádoba vyrovnává změny objemu kapaliny při různých teplotách. Automatická regulace řídí celý solární systém na základě údajů, naměřených čidly v různých částech systému. [13], [14]



Obr. 2.1: Solární systém [13]

2.2. Energie biomasy

Významným obnovitelným zdrojem energeticky využitelné energie je biomasa, v níž je uložena sluneční energie. Pojem biomasa obvykle označuje substanci biologického původu, jako je rostlinná biomasa pěstovaná v půdě nebo ve vodě, živočišná biomasa, vedlejší organické produkty nebo organické odpady. Spalování biomasy patří k nejstarším a nejčastějším využitím. Jeho největší výhodou je, že se jedná o obnovitelný zdroj, který se na zemi vyskytuje ve velkém množství a v různých podobách. [15], [16]

Biomasu můžeme rozlišit podle **obsahu vody**:

Suchá

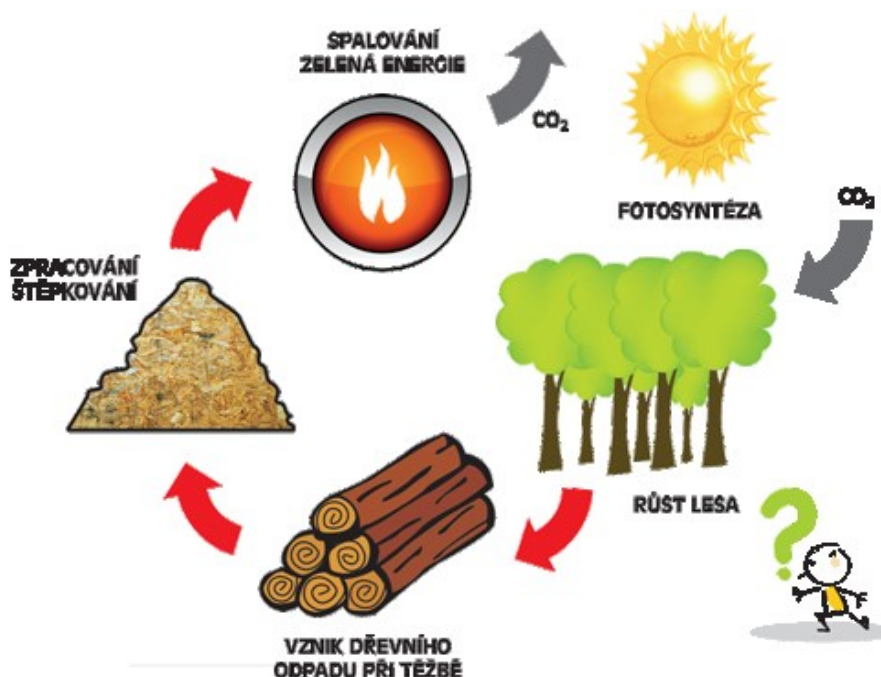
Zejména dřevo dřevní odpady, sláma a další suché zbytky z pěstování zemědělských plodin. Lze ji spalovat přímo, případně po dosušení

Mokrá

Tekuté odpady, jako kejda a další odpady ze živočišné výroby a tekuté komunální odpady. Nelze ji spalovat přímo, využívá se zejména v bioplynových technologiích.

Speciální biomasa

Patří zde například olejniny, škrobové a cukernaté plodiny. Využívají se ve speciálních technologiích k získání energetických látek – zejména bionafty nebo lihu. [17]



Obr. 2.2: Koloběh vzniku biomasy [19]

Na obrázku (viz. Obr. 2.2) je vidět koloběh vzniku biomasy resp. štěrky. Základem je fotosyntéza, která je uchována ve stromě. Při těžbě dřeva vzniká dřevní odpad, jež je zpracován na štěrku, a nakonec je využita jeho energie například k vytápění domu.

2.2.1. Přírodní podmínky a zpracování biomasy

V přírodních podmínkách v České republice lze využívat různě. V zásadě se rozlišují dvě kategorie, které jsou popsány v následující tabulce (viz. Tab. 2.1).

Tab. 2.1: Využití biomasy v našich podmínkách

Biomasa odpadní	
Rostlinné odpady	Řepková a obilná sláma, seno, odpady křovin, vinic, sadů a zeleně
Lesní odpady	Po těžbě dřeva zůstávají, odpady pařezy, kořeny, kůra, větve a šišky
Organické odpady z průmyslových výroby	Odpady z dřevařských provozoven, jatek, lihovarů, mlékáren a další
Odpady ze živočišné výroby	Hnůj, kejda, zbytky krmiv a další
Komunální organické odpady	Kaly, organický tuhý komunální odpad
Biomasa záměrně produkovaná k energetickým účelům, energetické plodiny	
Lignocelulóznové	Dřeviny, obiloviny, travní porosty, ostatní rostliny
Olejnate	Řepka olejka, slunečnice, len, dýně
Škrobno-cukernaté	Brambory, cukrová řepa, obilí (zrno), kukuřice, cukrová třtina

Z energetického hlediska lze energii z biomasy získávat téměř výhradně termo-chemickou přeměnou, tedy spalováním.

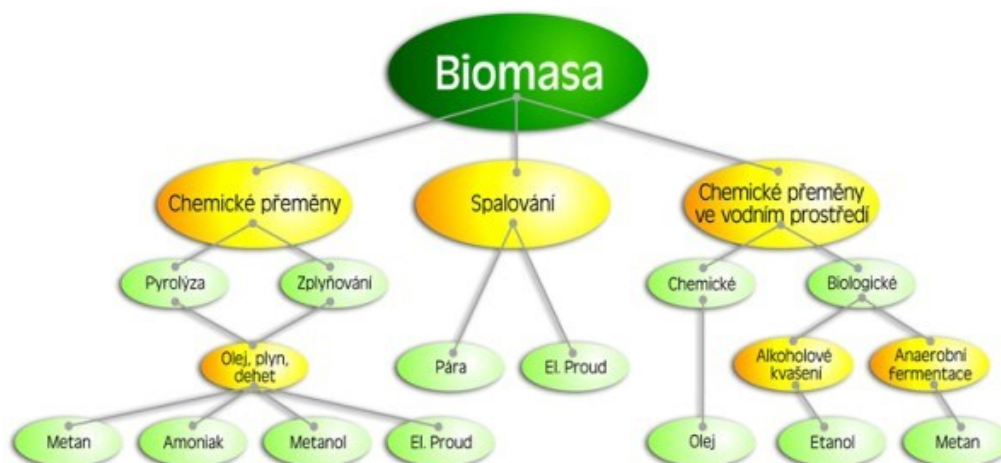
Výhřevnost je dána množstvím tzv. hořlaviny (organická část bez vody a popelovin, směs hořlavých uhlovodíků - celulózy, hemicelulózy a ligninu). Od toho se odvíjejí základní technologie zpracování a přípravy ke spalování, které jsou uvedeny v následující tabulce (viz. Tab. 2.2). [17]

Tab. 2.2: Základní technologie zpracování a přípravy biomasy ke spalování

Termochemická přeměna	Pyrolýza (produkce plynu, oleje)
	Spalování
	Zplyňování (produkce plynu)
Biochemická přeměna	Fermentace, alkoholové kvašení (produkce etanolu)
	Hnůj, kejda, zbytky krmiv a další
Mechanicko-chemická přeměna	Lisování olejů (produkce kapalných paliv, oleje)
	Esterifikace surových bio-olejů (výroba bionafty a přírodních paliv)
	Štípání, drcení, lisování, peletace, mletí (výroba pevných paliv)

2.2.2. Využití biomasy k vytápění

Suchá biomasa je velmi složité palivo, protože podíl částí zplyňovaných při spalování je velmi vysoký. Vzniklé plyny mají různé spalovací teploty. Proto se také stává, že ve skutečnosti hoří jenom část paliva, zejména při pálení dřeva v kotlích na uhlí. Ze suché biomasy se působením vysokých teplot uvolňují hořlavé plynné složky resp. dřevoplyn. Jestliže je přítomen vzduch, dojde k hoření, tzn., jde o prosté spalování. Pokud jde o zahřívání bez přístupu vzduchu, odvádí se vzniklý dřevoplyn do spalovacího prostoru, kde se spaluje obdobně jako jiná plynná paliva. Část vzniklého tepla je použita na zplyňování další biomasy. Výhodou je snadná regulace výkonu, nižší emise a vyšší účinnost. Využití biomasy lze vidět na následujícím obrázku (viz. Obr. 2.3). [17]



Obr. 2.3: Využití biomasy [18]

Moderní kotle na spalování biomasy se již nepodobají jejich předchůdcům, které známe z kotlen na uhlí. Jsou obvykle vybaveny kvalitní elektronikou a ve funkcích vůbec nezaostávají za kotli plynovými.

Podle **způsobů dodávání paliva** jsou rozlišovány:

Ručně:

Doplňování paliva a péče o vytápění objektu se stává povinností a také nutností některého ze členů domácnosti. Doplňování paliva je nutné asi 3x denně v závislosti na jeho druhu a objemu příkladací komory kotle.

Automaticky:

Doplňování paliva formou peletek představuje perspektivní alternativu ke spalování zemního plynu nebo zkapalněných plynů. Peletky jsou totiž u nových kotlů dopravovány automaticky malými šneky a tím odpadají zvýšené nároky na obsluhu. [19]

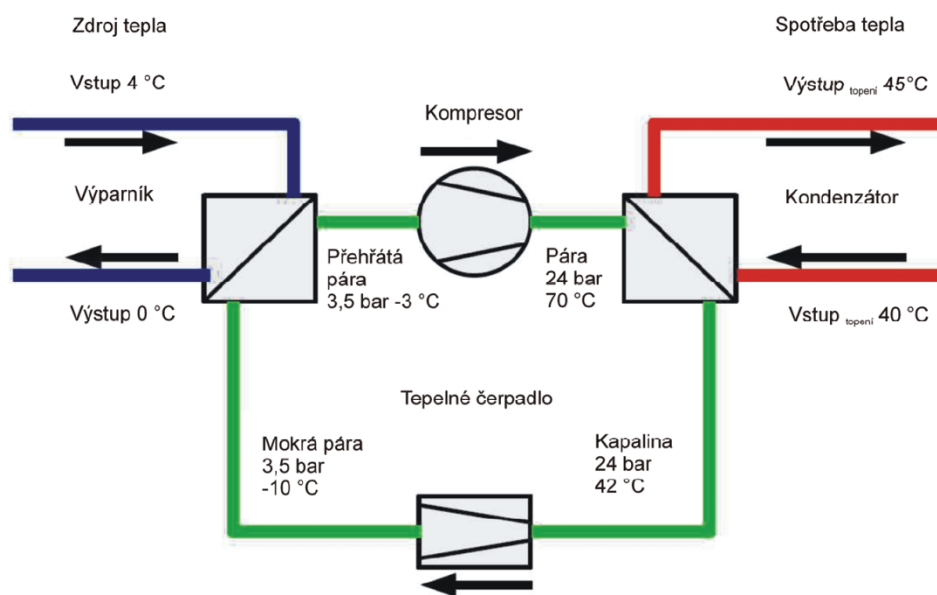
2.3. Tepelné čerpadlo

Tepelná čerpadla patří mezi jedny z nejvýznamnějších alternativních zdrojů. Stále více novostaveb (a nejen jich) využívá jejich služeb s kombinací podlahového vytápění. Jejich zdrojem je nízkopotenciální zdroj tepla, a to v mnoha formách jako je země, vzduch, voda. Srdcem tepelného čerpadla kompresor, jenž toto teplo díky elektrické energii zvýší několikanásobně.

2.3.1. Princip tepelného čerpadla

Tepelné čerpadlo můžeme rozdělit na dva okruhy, okruh primární a sekundární. V primárním okruhu je obsažen přírodní zdroj tepla (země, voda). V sekundárním okruhu je již využité teplo. Dá se říci, že v tepelném čerpadle probíhají čtyři fyzikální procesy. Prvním je vypařování, které probíhá ve

výparníku. Díky přivedení přírodního tepla dochází k odpařování chladiva, které je vedeno do kompresoru. Druhým je komprese, kde dochází ke stlačení pracovní látky v plynném stavu a k zvýšení její teploty. Třetím je kondenzátor, kde se ohřátá pára kondenzuje a předává teplo otopné soustavě. Kapalně chladivo jde dál. Čtvrtým a posledním je expanze kde při klesajícím tlaku přejde chladivo z kapalného do plynného stavu a putuje dál do výparníku, kde se celý proces opakuje. Princip funkce je znázorněn na následujícím obrázku (viz. Obr. 2.4).



Obr. 2.4: Princip tepelného čerpadla [1]

Důležitým faktorem každého tepelného čerpadla je topný faktor. Toto číslo bývá větší než jedna a pohybuje se mezi 1 až 6. Záleží na druhu tepelného čerpadla, ale taky na výši teploty.

$$COP = \varepsilon = \frac{P_p}{P_d} \quad (-) \quad (1)$$

ε topný faktor (-)

P_p výkon předaný do topného systému (W)

P_d dodaný elektrický výkon (W) [1]

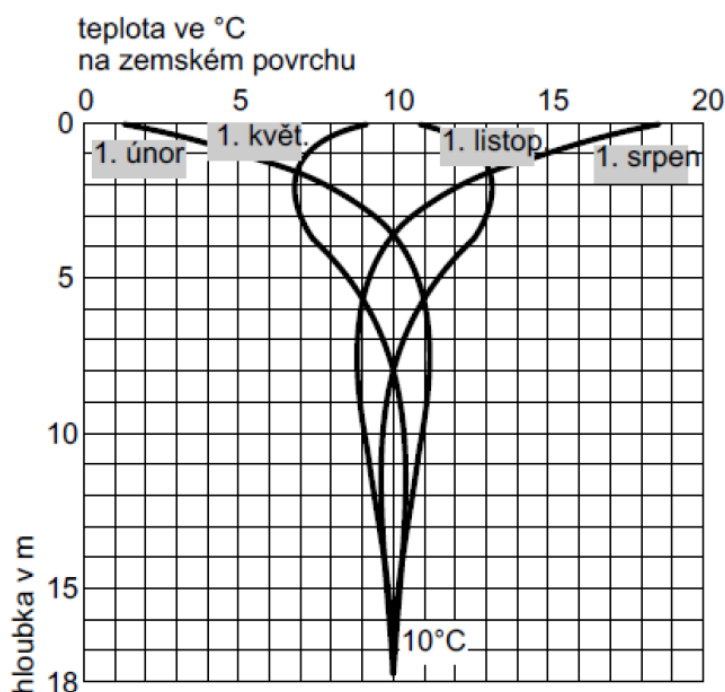
2.3.2. Druhy tepelných čerpadel

Jsou definovány dvěma slovy a jsou odděleny vzájemně lomítkem. První slovo znamená zdroj tepla (země, voda, vzduch), druhé teplotonosné médium, jež předává teplo objektu (vzduch, voda).

Vzduch/Voda - Toto tepelné čerpadlo nevyžadují nákladné zemní práce, a hlavně proto jsou investičně levnější. Nevýhodou je ale kolísání teploty během roku, tedy čím nižší je teplota venku, tím menší je výkon tepelného čerpadla. Proto se používají v tzv. bivalentním provozu.

Země/Voda - U těchto zařízení se teplo získává ze zemské půdy (viz. Obr. 2.6). Teplonosným médiem je voda. Jedná se o nejstabilnější tepelné čerpadlo, které jsou schopny zajistit teplo během celého roku. Hlavní nevýhodou jsou zemní práce. Dle způsobu čerpání nízkopotenciální energie se s nimi lze setkat v provedení s geotermálním vrtem nebo plošným kolektorem.

Geotermální vrt – využívají teplo uložené hluboko v zemi. Vrty se dělají do hloubky až 150 metrů. Pokud vrt nesplní požadavky na pokrytí tepla, dělá se více vrtů. Teplota vrtu se pohybuje kolem 10 °C po celý rok, nezávisle na vnějších podmínkách na povrchu. Na 1 kW výkonu tepelného čerpadla je potřeba 12 – 18 metrů hluboký vrt. V následujícím obrázku (viz. Obr. 2.5) lze vidět, jak se pohybuje teplota v geotermálním vrtu resp. primárního okruhu během roku. Z toho vyplývá, že v zimě kdy jsou teploty pod bodem mrazu, se teplota drží nad nulou nebo je rovna nule.



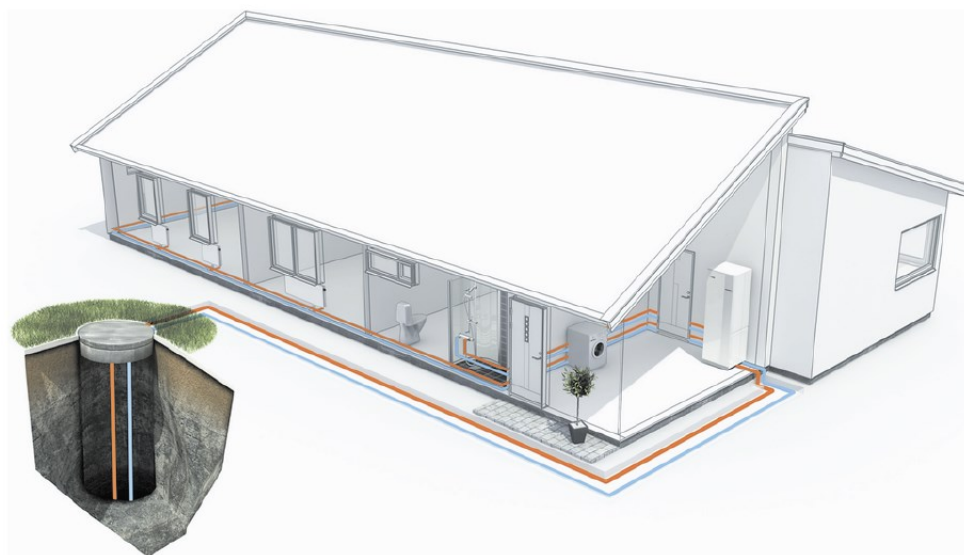
Obr. 2.5: Průběh teploty v neporušené zemi v závislosti na hloubce a ročním období [28]

Plošný kolektor – využívá se nahromaděné sluneční energie pod povrchem země. Je potřeba velké plochy, ale ve srovnání s geotermálním vrtem jsou levnější. Je důležité vědět, že dosahují nižšího topného faktoru, oproti geotermálnímu vrtu. [1]

Voda/Voda - U těchto tepelných čerpadel se zpravidla dosahuje nejvyšší hodnoty topného faktoru, horší je to s její instalací, jelikož je nedostatek lokalit s výskytem potřebných vod. Podle výskytu je můžeme dělit na podzemní a povrchovou.

Podzemní – voda v podzemí dosahuje teploty okolo 10 °C ve všech ročních obdobích, je tedy stabilní. Z technického hlediska se zřizují dvě studny, a to topná, která je zdrojem tepla vsakovací, do které se ochlazená voda vrací zpět do země. Je důležité zjistit taky vydatnost vody v topné studně.

Povrchová – tímto rozumíme vody jako řeka, rybník a jiné vodní plochy. Vyskytují se vzácně, jelikož jsou závislé na kolísání teploty. [1]



Obr. 2.6: Tepelné čerpadlo země/voda s geotermálním vrtem [1]

2.3.3. Provoz tepelných čerpadel

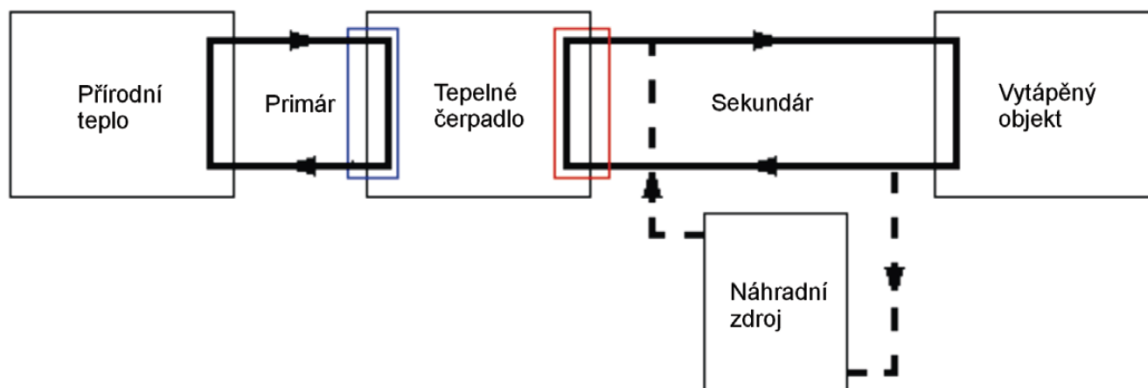
Při výběru tepelného čerpadla vyvstává otázka: Pokryje tepelné čerpadlo celoroční náklady na teplo? Odpověď na tuto otázku ovlivní celou soustavu a hlavně jak bude provozována, tedy jen pomocí tepelného čerpadla, nebo i s dalším zdrojem

Monovalentní provoz - V tomto provozu tepelné čerpadlo pokrývá potřebné teplo objektu i v nejchladnějších obdobích. Tento způsob vytápění je tedy vhodný pro zdroje, kde je stabilní teplota po celý rok, jako země/voda a voda/voda. Není vhodný pro zařízení vzduch/voda.

Monoenergetický provoz - Tento provoz se vyznačuje tím, že do sekundárního okruhu se připojuje malý zdroj tepla, který pokrývá špičky potřebného tepelného výkonu

Bivalentní provoz - Tento provoz je podobný monoenergetickému, avšak je zde jedna změna. Jsou zde dva nezávislé zdroje, tepelné čerpadlo a jiný zdroj (plyn, fosilní paliva...). Zpravidla nepracují společně v ten samý čas. Při velkých mrazech vypne tepelné čerpadlo a objekt vyhřívá náhradní zdroj. Důležité je zjistit tzv. bivalentní bod. Ten se stanovuje z tepelné ztráty domu a vnější teploty. Obvykle

se tato teplota pohybuje kolem $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, záleží na pokrytí tepelného čerpadla, a taky na druhu tepelného čerpadla. Bivalentní provoz je vidět na následujícím obrázku (viz. Obr. 2.7). [1]



Obr. 2.7: Provoz tepelného čerpadla v bivalentním provozu [1]

3. Stirlingův motor

Stirlingův motor byl vynalezen a patentován Robertem Stirlingem v roce 1816. Předcházely ho dřívější pokusy o výrobu vzduchového motoru. Stirling pravděpodobně uvedl do provozu první horkovzdušný motor, když byl jím postavený stroj v roce 1818 využit k čerpání vody v lomu. [2]

Nejdůležitější originální myšlenkou Stirlingova patentu byl tepelný výměník zvaný "Ekonomizér" který zlepšoval spotřebu paliva v různých oblastech použití. Patent také do podrobností popisuje využití jedné formy ekonomizéru ve Stirlingově jedinečném návrhu horkovzdušného motoru s uzavřeným oběhem. V tomto použití je nyní všeobecně známý jako „regenerátor“. Následný vývoj Roberta Stirlinga a jeho bratra Jamese, technika, vyústil v patenty různých vylepšených uspořádání původního stroje, včetně zvýšeného tlaku, který měl v roce 1843 dostatečně vysoký výkon, aby mohl hnát všechny stroje ve slévárně železa ve skotském městě Dundee. Třebaže to bylo zpochybňováno, je obecně předpokládáno, že stejně jako úsporou paliva, byl vynálezce motivován snahou vytvořit bezpečnější motor namísto parního stroje. [2]

3.1. Princip motoru

Stirlingův motor je tepelný stroj pracující s cyklickým stlačováním a expanzí vzduchu nebo jiného pracovního plynu. Stlačováním při nízké teplotě pracovního plynu a expanzí při vysoké teplotě pracovního plynu probíhá transformace tepelné energie na mechanickou práci. Jde o motor s uzavřeným oběhem, s regenerativním ohřevem a se stálou náplní pracovního plynu. Uzavřený pracovní cyklus je definován jako termodynamický systém, ve kterém není s okolím vyměňován pracovní plyn, ale jen tepelná energie. Výměna tepla s okolím probíhá přes tepelné výměníky ohříváče a chladiče. Regenerátor je tepelný výměník, který uschovává tepelnou energii v době mezi expanzí a kompresí pracovního plynu. Regenerátor odlišuje Stirlingův motor od ostatních horkovzdušných motorů. [2]

3.2. Vlastnosti motoru

Stirlingův motor je významný pro svou vysokou účinnost v porovnání s parním strojem. Stirlingovy motory jsou schopny dosáhnout 40% účinnosti, mají tichý chod, a umí využít téměř libovolný zdroj tepla. V současnosti zvyšuje jejich význam možnost použití **alternativních a obnovitelných zdrojů energie**, zvláště v případě použití motoru pro **mikrokogeneraci**. [2]

Jeho největší přednosti:

Vysoká odolnost vůči opotřebení:

- Externí spalování chrání vnitřní součásti Stirlingova motoru proti kontaminaci spaliny a nedochází tak k jejich nadměrnému opotřebení. Stirlingův motor je proto téměř bezúdržbový, má velmi dlouhou životnost a několikanásobně delší servisní interval než konvenční typy motorů. [3]

Ekologický:

- V porovnání s konvenčními plynovými motory, vybavenými katalyzátorem a lambda sondou, jsou u Stirlingova motoru hodnoty emisí CO a NOx zcela minimální a dalece předbíhají i ty nejprísnejší současné limity. Uhlovodíky nejsou u Stirlingova motoru produkovány téměř žádné. [3]

Nenáročný na kvalitu paliva:

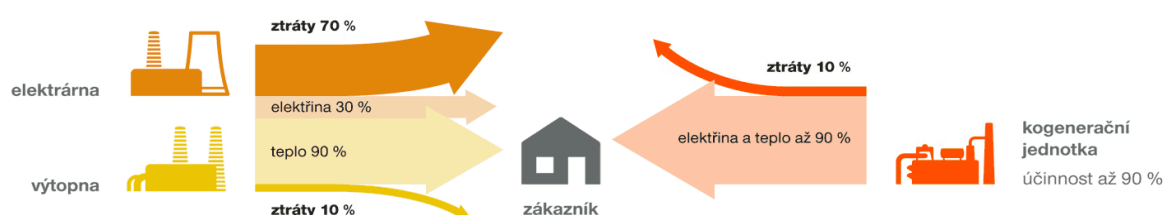
- Stirlingův motor je díky externímu spalování velice nenáročný na kvalitu paliva. Je tolerantní k nečistotám, vlhkosti i velmi nízkému obsahu metanu, což umožňuje spalování bioplynu nebo skládkového plynu přímo z fermentační nádrže bez nutnosti dodatečného čištění. [3]

Tichý a stabilní:

- Stirlingův motor se od konvenčních spalovacích motorů liší mimo jiné absencí zapalování, vstřikování a některých mechanických součástí jako jsou ventily a vačkové hřídele. Vyznačuje se proto velmi tichým a vyrovnaným chodem bez nežádoucích vibrací. [3]

4. Kogenerace

Kogenerace je sdružená výroba elektřiny a tepla. Proces přeměny energie z paliva je proveden tak, že nejprve se využije vysokopotenciální tepelná energie (pracovní látka má vysokou teplotu) k vykonání práce a teprve potom se pracovní látka o nižší teplotě využije pro pokrytí potřeb tepla. Vítaným důsledkem použití kogenerace je snížení spotřeby primárních energetických zdrojů při dodávce spotřebitelem požadovaného tepla a elektrické energie. Se snížením této spotřeby pak souvisí i zmenšení škodlivých emisí. [4]



Obr. 4.1: Princip kogenerace [5]

4.1. Druhy kogeneračních technologií

Intenzivní vývoj v posledních dvou desetiletích vytvořil širokou paletu vhodných kogeneračních zařízení umožňujících jejich instalování přesně podle požadavků odběratelů energií. Navíc legislativní opatření dnes, ve srovnání s dřívější dobou, usnadňují nejen investování do kogenerační výroby, ale i její provozování. Každá kogenerační jednotka se skládá ze čtyř základních částí:

- Motoru (pohonná jednotka)
- Elektrického alternátoru
- Kotle nebo výměníku tepla
- Kontrolního a řídicího systému

V současné době se jako pohony používají spalovací turbíny a motory, parní turbíny, paroplynová (kombinovaná) zařízení, stirlingovy motory a jiné. [4]

4.1.1. Kogenerační jednotky se spalovacími motory

Spalovací motor je tepelný stroj velmi vhodný k teplotenskému využití. Motor pohánějící elektrický generátor produkuje současně odpadní teplo (viz. Obr. 4.2). Jedná se o teplo chlazení motoru (blok válců a hlava motoru), chlazení mazacího oleje a o teplo výfukových plynů. Chlazení oleje je prováděno pomocí vodního chladicího okruhu, z něhož je teplo odváděno topnou vodou. Ohřev této vody může být proveden nanejvýš na teplotu kolem 80 °C. Využívá-li se ve zvláštním výměníku chladicí teplo bloku motoru a hlav válců, může výstupní teplota topné vody dosahovat i 100 až 110 °C, jestliže je primární okruh proveden jako tlakový. Vzhledem k tlakovým poměrům v primárním chladicím okruhu motoru je ovšem výhodnější, je-li požadováno ohřátí topné vody jen na 90 až 100 °C. Ve výměníku využívajícím tepla výfukových plynů, jejichž teplota je nejčastěji v rozmezí 400 až 540 °C, je možné ohřát tlakovou vodu na teploty vyšší než 110 °C (omezení je dáno tlakem v okruhu ohřívání vody) nebo vyrábět v něm páru.



Obr. 4.2: Toky energií u kogenerační jednotky se spalovacím motorem [4]

5. Podlahové vytápění

U dvou ze tří zdrojů tepla, které budu navrhovat, se bude používat teplovodní podlahové vytápění, a to konkrétně tepelné čerpadlo zem/voda a mikrokogenerační jednotka.

5.1. Elektrické podlahové vytápění

Jelikož v této práci se budu zabývat i elektrickým podlahovým vytápěním, je vhodné se o něm zmínit i z hlediska teorie a vlastnostech. Ve srovnání s elektrokotlem je toto vytápění provozně výhodnější. Elektrické podlahové vytápění se dělí na tři způsoby použití.

Topné kabely jsou zabudovány v potěru. Při akumulacním provozu je teplo do hmoty akumulováno v době snížené sazby a postupně předáváno do místnosti. U akumulacního je tloušťka cementového potěru 10 – 15 cm. Měrný příkon topných rohoží se pohybuje kolem 160 – 250 W/m². Doba akumulace činí 8 až 10 hodin. U poloakumulacního podlahového vytápění je tloušťka betonové vrstvy 6 – 9 cm. Měrný příkon je nižší 100 – 160 W/m². Kabely a rohože jsou kladeny do poloviny těchto mazanin. Doba akumulace u poloakumulacního vytápění až 8 hodin. [10]

O akumulacní schopnosti rozhoduje tzv. časová konstanta τ_a :

$$\tau_a = \frac{d_a \cdot c_a \cdot \rho_a}{\Lambda_1 + \Lambda_2} \quad (2)$$

τ_a	míra akumulace (h)
d_a	tloušťka akumulacní vrstvy (m)
c_a	měrná tepelná kapacita akumulacní vrstvy (J/(kg·K))
ρ_a	měrná hmotnost akumulacní vrstvy (kg/m ³)
Λ_1	tepelná propustnost od roviny uložení kabelů směrem nahoru (W/(m ² ·K))
Λ_2	tepelná propustnost od roviny uložení kabelů směrem dolů (W/(m ² ·K))

Pro každou místnost musíme znát tepelnou ztrátu, kterou chceme pokrýt. Při zjednodušeném postupu se používá vztah: [10]

$$Q_p = Q_c \cdot (1 + k + d_{dyn}) = Q_c \cdot (1,1 \text{ až } 1,3) \quad (3)$$

Q_p	potřeba tepla (W)
Q_c	tepelná ztráta místnosti (W)
k	součinitel na ztrátu toku tepla směrem dolů (-)
d_{dyn}	přirážka na dynamiku (-)

Měrná potřeba tepla:

$$q_p = \frac{Q_p}{S_p} \quad (\text{W/m}^2) \quad (4)$$

S_p otopná plocha (m^2)

Potřebný instalovaný příkon:

$$P_i = \left(\frac{T}{t_N} \right) \cdot Q_p \quad (\text{W}) \quad (5)$$

P_i instalovaný příkon (W)

T celková doba provozu (24 hodin)

t_n doba nabíjení ($t_z + t_D$) základní + doplňková doba nabíjení (h)

Je potřeba zvolit vhodný typ kabel pro dané použití. Kabely mají své dané výkonové vlastnosti a kladou se do tzv. meandru. [10]

Vzdálenost mezi vodiči:

$$m = \frac{p_k}{p} \quad (\text{m}) \quad (6)$$

p_k hodnota měrného zatížení topného kabelu (W/m)

p měrný příkon (W/m^2)

Délka kabelu v dané ploše:

$$m = \frac{P}{p_k} \quad (\text{m}) \quad (7)$$

Topný kabel - Je tvořen odporovým jádrem, izolací ze zesíťovaného PE, případně z ochranného opletení měděnými drátky a pláště z PVC. V jádře dochází k přeměně elektrické energie na tepelnou. Existují dvoužilové nebo jednožilové kabely. Jejich topný výkon se udává ve wattech na metr např. 10 W/m. Topné kabely se nepokládají pod vany, sprchy, WC, ani kuchyňské linky. Nábytek by měl umožnit odvětrávání, nebo být na nohách. Je důležité použít i vhodný jistič. Většinou se používá 10 – 16 A. [10]

5.2. Teplovodní podlahové vytápění

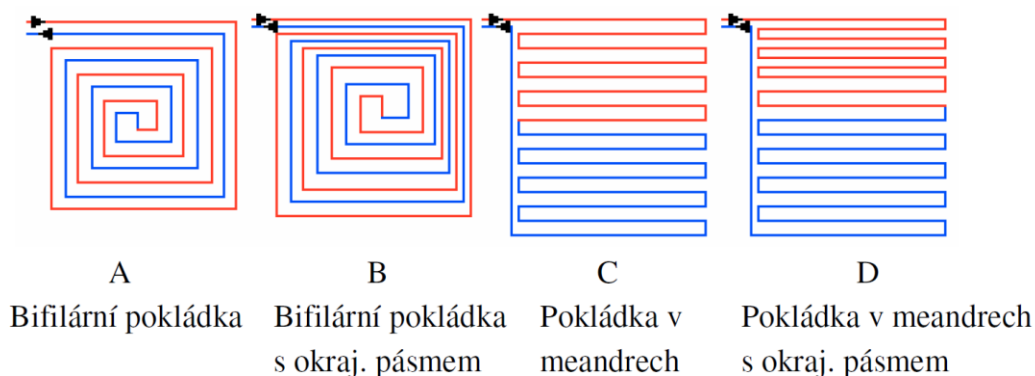
Toto vytápění se liší oproti elektrickému podlahovému vytápění ve způsobu dodávky tepla. Teplá voda proudí v trubkách a od ní se ohřívá beton. Teplá voda v trubkách je rozdělena na přívodní a vratnou vodu. V přívodu je teplota vody obvykle 40 °C, ve vratce 30 °C. Předávání tepla z betonové

podlahy do vytápěné místnosti je stejné jako u elektrického vytápění - sáláním. Vhodnými zdroji tepla jsou např. plynové nebo elektrokotel.

Rozdělovač – Je důležitou součástí podlahového vytápění. Obvykle bývá pro jedno patro jeden rozdělovač. Na jeden topný okruh je většinou jedna místnost. Každý topný okruh končí a začíná v rozdělovači. Podle počtu okruhů se určuje, kolik okruhů resp. cest bude mít, např. 12-cestný.

Plastové trubky – Běžně se používá polypropylén (PP), síťovaný polyetylén (PEX) nebo polybutylén (PB). Vnitřní průměr trubky je v rozmezí 14 až 20 mm, tloušťka stěny trubky bývá 2 mm. Je nutné použití buď lišt, na které se instalují trubky, nebo tzv. systémových desek, kde se trubky jen vkládají a nemusí se připevňovat příchýtkami.

Důležitou otázkou je jak se bude podlahové vytápění pokládat, tedy jaké bude tzv. zapojení trubek. Jejich způsoby zapojení jsou vidět na následujícím obrázku (viz. Obr. 5.1).



Obr. 5.1: Způsoby pokládání teplovodního podlahového vytápění [11]

6. Energetické bilance domu

Jedná se o projekt novostavby rodinného domu (viz. Příloha 5 a Příloha 6), jenž bude sídlit v okrese Zlín, v obci Vysoké Pole. Uvažují se dvě podlahové vytápěcí soustavy, a to teplovodní a elektrické podlahové vytápění (konvenční), přičemž teplovodní bude uvažováno pro mikrokogenerační jednotku a tepelné čerpadlo země/voda. Nejnižší venkovní teplota je uvažována -15 °C, během vytápěcího období je uvažováno průměrná venkovní teplota 3,6 °C.

6.1. Tepelná ztráta

K tomu, abych zjistil tepelnou ztrátu, potřebuji znát vlastnosti konstrukce budovy, to znamená stěny, podlahy, stropy dveře a okna. Tyto údaje jsou obsaženy v následujících dvou tabulkách (viz. Tab. 6.1 a Tab. 6.2).

Tab. 6.1: Vlastnosti průsvitné konstrukce budovy

Označení	U (W·K ⁻¹ ·m ⁻²)	Šířka (m)	Délka (m)	A _o (m ²)	Počet (-)
OK1	0,81	2,4	1,97	4,73	6
OK2	0,81	1,5	0,9	1,35	2
OK3	0,81	1,5	0,5	0,75	9
OK4	0,81	1	0,5	0,5	2
DO	1	1	1,97	1,97	1
DV1	1,9	0,8	1,97	1,58	10
DV2	1,9	0,7	1,97	1,38	3
DV3	1,9	1	1,97	1,97	1

Základním resp. konvenčním zdrojem tepla bude uvažováno elektrické podlahové vytápění. Tepelné ztráty jsou vypočítány v programu TechCon 8.0 Promotion. Tento software počítá tepelné ztráty dle příslušné normy ČSN EN 12831.

Tab. 6.2: Vlastnosti neprůsvitné konstrukce budovy

Označení	U (W·K ⁻¹ ·m ⁻²)	d _s (m)	Označení	U (W·K ⁻¹ ·m ⁻²)	d _s (m)
PDL1	0,263	0,355	PDL1e	0,24	0,35
PDL1K	0,266	0,355	PDL1Ke	0,242	0,35
PDL2	0,435	0,295	PDL2e	0,342	0,3
PDL2K	0,443	0,295	PDL2Ke	0,348	0,3
STR	0,343	0,145	SCH	0,245	0,182
SO	0,11	0,525	SV2	0,32	0,25
SV1	0,51	0,15	SV3	0,74	0,1

Je nutné vědět, že u obou vytápěcích soustav vznikne jiná tepelná ztráta podlahou, a tím i jiná celková tepelná ztráta budovy.

V tabulce (viz. Tab. 6.2) nalevo je označení podlahy PDL1 (bez „e“), která patří teplovodnímu vytápění. Trubky jsou osazeny na systémové desce ND10N. V každém patře je jeden 12 - cestný rozdělovač. Teplota přívodu na teplovodním podlahovém vytápění je projektována na 40 °C při venkovní teplotě -15 °C. Na schodišti je radiátor, který je též napojen na rozdělovač.

Tab. 6.3: Tepelná ztráta budovy při teplovodním podlahovém vytápění

Číslo místnosti	Účel	θ_i	A_i	V_i	n_p	$V_{min,i}$	Φ_V	Φ_T	Φ_Z
		[°C]	[m ²]	[m ³]	[l/h]	[m ³ /h]	[W]	[W]	[W]
1.101	Obývací pokoj	20	26,98	73,34	0,5	36,9	439	447	886
1.102	Jídelna	20	24,24	66,66	1,5	100	1190	686	1876
1.103	Koupelna	24	11,19	30,76	1,5	46,1	612	247	859
1.104	Dětský pokoj	20	13,81	37,98	0,5	19,0	226	326	552
1.105	Ložnice	20	11,78	32,39	0,5	16,2	193	240	433
1.106	Předsíň	18	7,99	21,97	0,5	11,0	123	110	233
1.107	Spížírna	15	3,65	10,04	0	0	0	0	0
1.108	Chodba	20	10,61	29,16	0,5	14,6	174	52	226
1.109	WC	20	3,00	8,25	0,5	12,4	147	59	206
2.201	Obývací pokoj	20	20,08	57,32	0,5	28,7	341	453	794
2.202	Jídelna	20	17,92	51,16	1,5	76,7	913	589	1502
2.203	Koupelna	24	11,19	31,94	1,5	47,9	635	250	885
2.204	Pokoj	20	7,99	22,81	0,5	11,4	136	130	266
2.205	Pokoj	20	13,81	39,43	0,5	19,7	235	282	517
2.206	Pokoj	20	11,78	33,63	0,5	16,8	200	271	471
2.207	WC	20	3,00	8,56	0,5	4,3	51	67	118
2.208	Pokoj	20	8,39	23,95	0,5	12,0	142	175	317
2.209	Chodba	20	13,02	37,16	0,5	18,6	221	90	311
2.210	Schodiště	18	11,34	40,83	0,5	20,4	229	204	433
Suma			249,29	714,98		Suma	6 207	4 678	10 885

V tabulce pod textem (viz. Tab. 6.3) jsou uvedeny tepelné ztráty pro teplovodní podlahové vytápění. V koupelně je teplota 24 °C, na schodišti a předsíni 18 °C a v ostatních místnostech je teplota 20 °C. Spížírna je nevytápěný prostor. Schéma budovy s rozložením trubek v jednotlivých patrech jsou uvedeny v příloze (viz. Příloha 1 a Příloha 2).

V Následující tabulce (viz. Tab. 6.4) je tepelná ztráta budovy pro elektrické podlahové vytápění. Je použita systémová deska DEVIflex, na které jsou položeny topné kabely o výkonu 18 W/m nebo 10W/m. Největší ztráty pro obě varianty jsou vždy největší jídelny, kde jsou ztráty až kolem 1800 W,

které následují koupelny, kde je to dáno hlavně požadavkem na vyšší teplotu, než v ostatních místnostech.

Tab. 6.4: Tepelná ztráta budovy při elektrickém podlahovém vytápění

Číslo místnosti	Účel	θ_i	A_i	V_i	n	n_p	$V_{\min,i}$	Φ_V	Φ_T	Φ_Z
		[°C]	[m ²]	[m ³]	[l/h]	[l/h]	[m ³ /h]	[W]	[W]	[W]
1.101	Obývací pokoj	20	26,98	73,34	0,1	0,5	36,7	436	443	879
1.102	Jídelna	20	24,24	66,30	0,2	1,5	99,4	1183	682	1865
1.103	Koupelna	24	11,19	30,60	0,1	1,5	465,9	609	245	854
1.104	Dětský pokoj	20	13,81	37,78	0,2	0,5	18,9	225	323	548
1.105	Ložnice	20	11,78	32,22	0,1	0,5	16,1	192	238	430
1.106	Předsíň	18	7,99	21,85	0,1	0,5	10,9	123	110	233
1.107	Spížírna	15	3,65	9,98	0	0	0	0	0	0
1.108	Chodba	20	10,61	29,00	0	0,5	14,5	173	50	223
1.109	WC	20	3	8,21	0,1	0,5	12,3	146	59	205
2.201	Obývací pokoj	20	20,08	57,32	0,1	0,5	28,7	341	453	794
2.202	Jídelna	20	17,92	51,16	0,2	1,5	76,7	913	589	1502
2.203	Koupelna	24	11,19	31,94	0,1	1,5	47,9	635	250	885
2.204	Pokoj	20	7,99	22,81	0,1	0,5	11,4	136	128	264
2.205	Pokoj	20	13,81	39,43	0,2	0,5	19,7	235	282	517
2.206	Pokoj	20	11,78	33,63	0,1	0,5	16,8	200	271	471
2.207	WC	20	3,00	8,56	0,1	0,5	4,3	51	67	118
2.208	Pokoj	20	8,39	23,95	0,1	0,5	12	142	175	317
2.209	Chodba	20	13,02	37,16	0	0,5	18,6	221	91	312
2.210	Schodiště	18	11,34	40,83	0,1	0,5	20,4	229	210	439
Suma			249,29	714,98			Suma	6 190	4 666	10 856

6.2. Potřeba tepla pro teplovodní podlahové vytápění a TUV

Potřebu tepla je nutné vypočítat pro nadimenzování zdroje tepla. Budu počítat pouze pro teplovodní podlahové vytápění, pro elektrické podlahové vytápění je výpočet proveden v jiné kapitole. Tepelnou ztrátu již známe, teď je důležité určit další údaje. Nejdříve ale zjistím počet dennostupňů D . Tuto hodnotu dosadím do vzorce (9) pro potřebu tepla na vytápění $Q_{vyt,r}$. [21]

$$D = d \cdot (\theta_i - \theta_{es}) = 236 \cdot (20 - 3,6) = 3870,4 \text{ K} \cdot \text{dny} \quad (8)$$

Vnitřní teplota je $\theta_i = 20 \text{ °C}$, venkovní teplota $\theta_e = -15 \text{ °C}$, průměrná venkovní teplota v topných dnech činí $\theta_{es} = 3,6 \text{ °C}$, počet topných dnů je $d = 236$ dní, opravný součinitel ε činí 0,75. Účinnost obsluhy resp. možnosti regulace soustavy je zvolen $\eta_o = 1$ a účinnost rozvodu vytápění činí $\eta_r = 0,98$.

$$Q_{vyt,r} = \frac{\varepsilon}{\eta_o \cdot \eta_r} \cdot \frac{24 \cdot \Phi_z \cdot D}{(\theta_i - \theta_e)} \quad (\text{kWh/rok}) \quad (9)$$

$$Q_{vyt,r} = \frac{0,75}{1 \cdot 0,98} \cdot \frac{24 \cdot 10885 \cdot 3870,4}{(20 - (-15))} = 22,109 \text{ MWh/rok}$$

Dalším úkolem je zjistit potřebu tepla na TUV $Q_{TUV,r}$. Nejdřív vypočítám potřebu tepla na jeden den $Q_{d,TUV}$ a v rovnici (11) potřebu TUV po celý rok $Q_{TUV,r}$. Potřeba teplé vody na jednu osobu je dle literatury (20) 40 - 60 litrů. Uvažují se 4 osoby, což činí, pokud budu uvažovat 50 litrů na osobu, 200 litrů resp. $V_d = 0,2 \text{ m}^3$.

$$Q_{TUV,d} = (1 + z) \frac{\rho \cdot c \cdot V_d \cdot (\theta_2 - \theta_1)}{3,6 \cdot 10^6} \quad (\text{kWh/den}) \quad (10)$$

$$Q_{TUV,d} = (1 + z) \frac{1000 \cdot 4186 \cdot 0,2 \cdot (60 - 10)}{3,6 \cdot 10^6} = 17,442 \text{ kWh/den}$$

z koeficient energetických ztrát $z = 0,5$ (-)

ρ měrná hmotnost (1000 kg/m^3)

c měrná tepelná kapacita ($\text{J/kg} \cdot \text{K}$)

θ_1 teplota studené vody ($^{\circ}\text{C}$)

θ_2 teplota ohřáté vody ($^{\circ}\text{C}$)

$$Q_{TUV,r} = Q_{TUV,d} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{TUV,d} \cdot \frac{(\theta_2 - \theta_1)}{(\theta_2 - \theta_z)} \cdot (N - d) \quad (\text{MWh/rok}) \quad (11)$$

$$Q_{TUV,r} = 17,442 \cdot 236 + 0,8 \cdot 17,442 \cdot \frac{(60 - 10)}{(60 - 5)} \cdot (365 - 236)$$

$$Q_{TUV,r} = 6,116 \text{ MWh/rok}$$

Celková potřeba tepla Q_r je součtem potřeb tepla na vytápění a vodu.

$$Q_r = Q_{vyt,r} + Q_{TUV,r} = 22,109 + 6,116 = 28,225 \text{ MWh/rok} \quad (12)$$

Celková potřeba tepla činí **28,225 MWh/rok**.

6.3. Teplovodní podlahové vytápění

Výpočet a projektování teplovodního podlahového vytápění bylo provedeno v programu TechCON 8.0 Promotion. Na jedno podlaží je zapojen jeden rozdělovač s dvanácti okruhy, podrobnosti v tabulce. Jedna místnost tvoří jeden okruh, výjimkou je pár místností jako jídelna s kuchyní, koupelna a obývací pokoj, kde jsou až tři okruhy. Jediná místnost, kde není zapojeno podlahové vytápění, je schodiště. Zde je zapojen radiátor firmy VOGEL & NOOT o výkonu 513 W. V následující tabulce jsou vlastnosti podlahového vytápění (viz. Tab. 6.5).

Tab. 6.5: Vlastnosti teplovodního podlahového vytápění

Číslo místnosti	Účel	d_i	l_{pot}	Δt	M_h	w	θ_{pdl}	R^*I+z
		(m)	(m)	(K)	(kg/h)	(m/s)	(m)	(Pa)
1.101	Obývací pokoj	0,3	96,1	9,7	116,86	0,29	24,1	14 511
1.102	Jídelna s kuchyní	0,1	79,0	4,4	130,03	0,31	27,4	14 089
		0,1	86,2	4,4	135,76	0,32	27,4	15 941
		0,1	76,1	4,4	128,98	0,30	27,4	14 351
1.103	Koupelna	0,05	112,3	5,8	75,05	0,19	31,9	6 144
		0,05	112,3	5,7	76,33	0,19	32,0	6 429
1.104	Dětský pokoj	0,2	60,1	4,3	166,73	0,41	24,9	18 012
1.105	Ložnice	0,2	47,9	4,6	130,77	0,32	24,8	9 746
1.106	Předsíň	0,3	44,0	4,2	131,25	0,32	24,3	9 178
1.107	WC	0,15	23,3	2,3	79,54	0,15	28,7	1 608
1.108	Chodba	0,3	22,5	3,6	88,42	0,22	25,0	2 701
1.110	Schodiště	---	13,1	7,8	73,00	0,18	---	5 704
2.201	Obývací pokoj	0,3	80,9	9,9	80,82	0,20	24,0	5 438
2.202	Jídelna s kuchyní	0,05	113,3	3,9	118,79	0,29	28,3	17 025
		0,05	117,1	3,9	118,95	0,29	28,3	17 587
		0,05	115,3	3,9	119,40	0,30	28,3	17 454
2.203	Koupelna	0,05	120,1	5,9	73,67	0,18	31,9	6 210
		0,05	122,6	5,8	76,29	0,19	31,9	6 941
2.204	Pokoj	0,3	44,3	4,8	98,33	0,24	25,6	5 517
2.205	Pokoj	0,2	83,0	5,5	148,29	0,37	25,8	19 207
2.206	Pokoj	0,3	47,4	4,5	124,98	0,31	24,8	8 912
2.207	WC	0,3	17,2	1,2	105,92	0,26	26,2	3 263
2.208	Pokoj	0,3	28,0	6,6	57,26	0,14	24,5	1 133
2.209	Chodba	0,3	26,0	4,3	62,25	0,15	23,3	1 246

Každý okruh je napájen jedním rozdělovačem. Podlaha je většinou z parket, keramická dlažba je hlavně v koupelnách a WC. S tabulky je zřejmé, že tam kde je nejdelší potrubí, je i nižší hmotnostní průtok M_h . Schéma zapojení jednotlivých pater teplovodního podlahového vytápění jsou v příloze (viz. Příloha 1 a Příloha 2).

V následující tabulce (viz. Tab. 6.6) je rozepsána cena za teplovodní podlahové vytápění. Byla použita vícevrstvá trubka firmy IVAR, to samé platí pro rozdělovače. Ochranná trubka se dává na vícevrstvou trubku ALPEX, a to od rozdělovače až k místu připojení okruhu. Rozdělovač je od firmy IVAR, pro každé patro jeden a každý má 12 okruhů pro různé okruhy. Dilatační obvodová páska se dává okolo zdí a slouží k oddělení topné desky od svislé konstrukce objektů. Je zde zahrnut i radiátor firmy VOGEL & NOOT. Nejdražší položkou je systémová deska ND10N, na kterou se pokládají vícevrstvé trubky ALPEX.

Tab. 6.6: Cena teplovodního podlahového vytápění

Označení	Počet – rozměry	Jednotková cena (Kč)	Celková cena (Kč)
HPW vícevrstvá trubka ALPEX 16x2	1 726 m	15,40	26 580,40
Rozdělovač IVAR cs 553 12-cestný	2 ks	12 807,29	25 614,58
Svěrné šroubení 16x2	24 ks	71,10	1 706,4
Ochranná trubka IVAR HK 1620	184,2 m	19,00	3 499,80
Systémová deska ND 10 N	201,98 m ²	281,25	56 806,88
Dilatační obvodová páska	244,46 m	23,46	5 735,03
Plastifikátor PL10	41,86 kg	63,20	2 645,55
Radiátor VOGEL&NOOT S21	1 ks	10 611,00	10 611,00
Celková cena vč. DPH			133 199,64

Celková cena podlahového vytápění činí $N_{pdl} = 133\,199,64$ Kč.

6.4. Potřeba elektřiny

V této kapitole se zaměřím na celkovou spotřebu elektrické energie všech spotřebičů, jež nesouvisí s vytápěním. Jelikož se jedná o projekt novostavby, je těžké tuto spotřebu určit, protože nejsou k dispozici, žádné údaje o spotřebě elektrické energie tohoto objektu. Proto musím zkontrolovat s budoucím majitelem, jaké spotřebiče bude používat a provést odhad spotřeby elektrické energie. V následujících dvou kapitolách bude řešena spotřeba osvětlovací soustavy a elektrických spotřebičů.

6.4.1. Spotřeba osvětlovací soustavy

Je důležité vědět, že druhé podlaží je uvažováno jako druhá bytová jednotka, ale za cca 15 let (pro děti majitele), tedy že bude zřídka kdy využívána. To znamená, že i světla v tomto patře budou slabě vybavena (méně svítidel). V této tabulce (viz. Tab. 6.7) jsou uvedeny všechny důležité vlastnosti osvětlovací soustavy daného objektu. Největší denní spotřeba na osvětlení bude v obývacím pokoji, která přesáhne 300 Wh. Následuje jídelna s kuchyní, kde denní spotřeba jde přes 220 Wh. Jak již bylo zmíněno, druhé patro bude prozatím zřídka obytné. Celkový příkon osvětlení činí $P_{sp} = 687$ W.

Tab. 6.7: Denní spotřeba osvětlovací soustavy

Číslo místnosti	Účel	Typ svítidla	Počet světél – délka pásku	Příkon svítidla	Celkový příkon	Denní využití	Denní spotřeba
				(W/ks, W/m)	(W)	(h)	(Wh)
1.101	Obývací pokoj	Stropní	4 ks	9	36	4	144
		Stropní	4 ks	9	36	3,5	126
		LED pásek	5 m	4,8	24	1,5	36
1.102	Jídelna s kuchyní	Stropní	5 ks	9	45	4	180
		LED pásek	10 m	4,8	48	1	48
1.103	Koupelna	Stropní	2 ks	9	18	2,5	45
		Led bodovka	3 ks	5	15	1	15
1.104	Dětský pokoj	Stropní	3 ks	9	27	3	81
		Stolní lampa	1 ks	11	11	1	11
1.105	Ložnice	Stropní	3 ks	9	27	2	54
		Noční lampa	1 ks	4	4	0,5	2
1.106	Předsíň	Stropní	1 ks	9	9	1	9
1.108	Chodba	2x Stropní	4 ks	6	24	3,5	84
1.109	WC	Stropní	1 ks	9	9	1	9
1.110	Spížírna	Nástěnná	1 ks	9	9	0,5	4,5
2.201	Obývací pokoj	Stropní	4 ks	9	36	0,1	3,6
		Stropní	4 ks	9	36	0,05	1,8
2.202	Jídelna	Stropní	5 ks	9	45	0,05	2,25
2.203	Koupelna	Stropní	2 ks	9	18	0,5	9
		Led bodovka	3 ks	5	15	0,05	0,75
2.204	Pokoj	Stropní	3 ks	9	27	0,05	1,35
2.205	Pokoj	Stropní	3 ks	9	27	0,05	1,35
2.206	Pokoj	Stropní	3 ks	9	27	0,05	1,35
2.207	WC	Stropní	1 ks	9	9	0,05	0,45
2.208	Pokoj	Stropní	3 ks	9	27	0,05	1,35
2.209	Chodba	Stropní	4 ks	6	24	0,5	12
2.210	Schodiště	Nástěnná	3 ks	9	27	0,5	13,5
Venkovní osvětlení		Nástěnná	3 ks	9	27	2	54
					687		951,25

V rovnici (13) bude uvedena roční spotřeba elektrické energie osvětlovací soustavy $E_{r,OSV}$. Tu zjistím vynásobením čísla 365, což je počet dní v roce.

$$E_{r,OSV} = E_{d,OSV} \cdot 365 = 951,25 \cdot 10^{-3} \cdot 365 = 347,21 \text{ kWh/rok} \quad (13)$$

6.4.2. Spotřeba elektrických spotřebičů

V následující tabulce (viz. Tab. 6.8) jsou popsány technické údaje elektrických spotřebičů, jejich denní využití a denní spotřeba $E_{d,OSV}$. V tabulce je uvedeno tzv. denní využití. Například u pračky to je 0,5 za den. To znamená, že pračka bude v provozu každý druhý den.

Tab. 6.8: Denní spotřeba elektrických spotřebičů

Spotřebič	Typ spotřebiče	Elektrický příkon (kW)	Denní využití	Jednotky	Spotřeba, Příkon	Jednotky	Denní spotřeba (Wh)
Pračka	AEG L7FEE48SC	2 200	0,5	za den	620	Wh/cyklus	204,6
Sušička	BEKO Superia DS 7433	2 100	0,5	za den	573	Wh/cyklus	189,1
Myčka	MORA IM640	1 930	1	za den	1 020	Wh/cyklus	1 020,0
Trouba	MORA VT 548 MW	3 300	0,29	za den	920	Wh/cyklus	266,8
Indukční deska	MORA VDIS 642 FF	7 100	1,14	h	1 300	W	1 482
			0,35	h	1 700	W	595,0
			0,1	h	2 100	W	210,0
Odsavač par	MORA OV 680 G-60CM	118	0,14	h	118	W	16,5
Mikrovlnná trouba	BEKO MOC 20100S	700	0,5	h	700	W	350,0
Televizor	Samsung UE55J6282SU	83	4	h	83	W	332,0
Rychlovarná konvice	ECG RK 1740 KE	2 000	0,17	h	2 000	W	340,0
Žehlička	Braun TS 330C	2 000	0,5	h	2 000	W	1 000,0
Vysavač	Rowenta Compacteo Ergo RO5285	750	0,11	h	750	W	82,5
Notebook	Lenovo B51-80	45	4	h	45	W	180,0
Lednice	Bosch KIV87VF30	90	-----	-----	-----	-----	621,9
		22 416					5 073,2

Nejtěžší bylo určit spotřebu u indukční desky. Ta se skládá ze čtyř okruhů, z nichž dva mají příkon 1,3 kW, a ostatní 1,7 kW resp. 2,3 kW. Všechny elektrické příkony jsou průměry minimálního a maximálního příkonu indukční desky. Počítá se s tím, že nejmenší deska se bude používat vždy jednu hodinu denně, a z toho nejspíš o víkendu se mohou používat obě naráz. Celkový elektrický

příkon spotřebičů činí $P_{sp} = 22\,416$ W. Následující rovnice (14) ukazuje celkovou spotřebu elektrické energie elektrických spotřebičů $E_{r,ES}$.

$$E_{r,ES} = E_{d,ES} \cdot 365 = 5073,2 \cdot 10^{-3} \cdot 365 = 1851,72 \text{ kWh/rok} \quad (14)$$

6.4.3. Celková spotřeba elektrické energie

Zjistil jsem celkovou spotřebu osvětlení a elektrických spotřebičů, tím pádem mi už nic nebrání, abych zjistil celkovou spotřebu elektrické energie daného objektu $E_{r,S}$.

$$E_{d,S} = E_{d,ES} + E_{d,OSV} = 5073,2 + 951,25 = 6024,45 \text{ Wh} \quad (15)$$

$$E_{r,S} = E_{r,ES} + E_{r,OSV} = 1851,72 + 347,21 = 2198,93 \text{ kWh/rok} \quad (16)$$

Celková spotřeba elektrické energie elektrických spotřebičů a osvětlovací soustavy činí **2 198,93 kWh/rok**.

6.4.4. Určení proudového zatížení domácnosti

Pro určení hlavního jističe je důležité sečíst všechny výkony a vypočítat z nich elektrický proud (viz. rovnice (17)), uvažuju účinník $\cos \varphi = 0,95$ a jmenovité sdružené napětí $U = 400$ V a frekvence 50 Hz.

$$I_S = \frac{P_{sp} + P_{sv}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{22416 + 687}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,95} = 35,1 \text{ A} \quad (17)$$

Celkový proud tedy vyšel $I_S = 35,1$ A. Nelze však předpokládat že všechny spotřebiče pojedou najednou, navíc nejbližší vyšší jistič má hodnotu 40 A, což by znamenalo i vyšší provozní náklady na jistič, proto musím určit soudobý výkon P_S resp. soudobost. V následující tabulce (viz. Tab. 6.9) jsou napsány výkony spotřebičů, při kterých předpokládám maximální výkonové využití, jež dodržují i následující podmínky pod touto tabulkou.

Tab. 6.9: Předpokládaný soudobý příkon

Spotřebič	Elektrický příkon (W)	Spotřebič	Elektrický příkon (W)
Pračka	2 200	Rychlovarná konvice	2 000
Trouba	3 300	Televizor	83
Indukční deska	5 100	Notebook	45
Odsavač par	118	Lednice	90
Mikrovlnná trouba	700	Osvětlení	343,5
Celkový soudobý příkon P_S (W)		13 980	

Prvním předpokladem je, že pračka a sušička nepojedou ve stejnou dobu. Dále lze říci, že ze tří spotřebičů, a to rychlovarná konvice, vysavač a žehlička, bude v provozu vždy jen jeden. U trouby předpokládám elektrický příkon 5,1 kW, tedy pojedou tři ze čtyř indukčních vaříčů, a to na průměrný výkon. Poslední předpoklad pro spotřebiče je, že vždy pojede buď trouba s indukcí a odsavačem, nebo myčka samotná. Pro osvětlení budu předpokládat, že bude v provozu polovina svítidel.

$$I = \frac{P_s}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{13\,980}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,95} = 21,24 \text{ A} \quad (18)$$

Po určení soudobého příkonu jsem stanovil elektrický proud (viz rovnice (18)), který je znatelně menší. Kdybych předpokládal, že už žádné jiné zatížení by nebylo uvažováno, nejbližší hlavní jistič by byl 3 x 25 A, který vyhovuje pro většinu domácností. Toto jištění by mohlo vyhovovat například pro variantu 3 resp. mikrokogenerační jednotku.

7. Návrh jednotlivých otopných systémů

V této kapitole se budu zabývat praktickým návrhem alternativních zdrojů a jednoho konvenčního zdroje. Hlavními body, které se zde budu snažit přiblížit, jsou celková spotřeba primární energie resp. spotřeba elektrické energie nebo také plynu. Mezi tyto varianty patří:

- Elektrické podlahové vytápění
- Tepelné čerpadlo země/voda
- Mikrokogenerační jednotka

7.1. (a1) Elektrické podlahové vytápění

Toto vytápění bude považováno za konvenční resp. porovnávací s ostatními dvěma alternativními zdroji. Topné kabely jsou od firmy DEVI o výkonu 10 nebo 18 W/m. Jednotlivý topný kabel je jištěn jističem hodnoty 10 A resp. 16 A. Skladba podlahy je tvořena betonem hutným, polystyrenem, každý tloušťky 15 cm (od země). Topné kabely jsou uloženy v cementové mazanině o tloušťce 40 mm, což odpovídá poloakumulačnímu vytápění. Sazba byla vybrána D57d s blokováním 4 hodiny. Údaje o výkonech jsou z pobytové zóny. V jídelnách jsou tzv. okrajové zóny, jež jsou umístěny na vnitřní straně ochlazované zdi, od které jsou vzdáleny 0,5 m, rozteč trubek je 85 mm. Návrh vytápěcí soustavy, a také spočítání celé soustavy bylo provedeno v programu TechCON, schéma podlahového vytápění je v příloze (viz. Příloha 3 a Příloha 4).

Ohřívač TUV je vybrán od firmy Dražice typ OKCE 200, s objemem 200 l. Zapojení je provedeno jednofázově s napětím 230 V o výkonu 2,2 kW. Doporučený jistič má hodnotu 16A, maximální provozní tlak 0,6 MPa. Výrobce udává, že denní spotřeba elektrické energie $E_{d,TUV}$ činí 20,34 kWh. Doba ohřevu je 5,3 hodin.

$$E_{r,TUV} = E_{d,TUV} \cdot 365 = 20,34 \cdot 365 = 7424,1 \text{ kWh} \quad (19)$$

V rovnici (20) jsem místo tepelné ztráty Φ , použil celkový tepelný výkon soustavy, jež činí $\Phi_{epv} = 11\,785 \text{ W}$. Je to dáno dynamikou soustavy a činitelem ztráty toku tepla podlahou.

$$Q_{vyt,r} = \frac{\varepsilon}{\eta_o \cdot \eta_r} \cdot \frac{24 \cdot \Phi_{epv} \cdot D}{(\Theta_i - \Theta_{es})} \quad (\text{kWh/rok}) \quad (20)$$
$$Q_{vyt,r} = \frac{0,75}{1 \cdot 0,98} \cdot \frac{24 \cdot 11785 \cdot 3870,4}{(20 - (-15))} = 23,936 \text{ kWh/rok}$$

V následující tabulce (viz. Tab. 7.1) jsou uvedeny vlastnosti elektrického podlahového vytápění, jako druh použitého kabelu, rozteč a délka topných kabelů, nebo měrný výkon.

Tab. 7.1: Vlastnosti elektrického podlahového vytápění

Číslo místnosti	Účel	Kabel DEVI	A_i	θ_{pdl}	Měrný výkon	Φ_o	d_i	l_i
		(W/m)	(m ²)	(°C)	(W/m ²)	(W)	(m)	(m)
1.101	Obývací pokoj	18	13,49	23,5	79,7	477	0,23	82
			13,49	23,5	79,7	477	0,23	82
1.102	Jídelna s kuchyní	18	11,52	26,3	90,6	894	0,18	74
			11,51	27,3	114,8	1016	0,16	82
1.103	Koupelna	18	9,96	32,2	134,5	905	0,14	74
1.104	Dětský pokoj	10	13,81	24,1	66,6	576	0,15	90
1.105	Ložnice	10	11,78	24,0	78,1	478	0,13	90
1.106	Předsíň	10	7,99	22,0	63,2	330	0,16	50
1.108	Chodba	10	10,61	23,0	56,6	317	0,18	60
1.109	WC	10	2,49	26,2	96,4	165	0,10	25
2.201	Obývací pokoj	10	20,08	24,1	60,8	848	0,17	120
2.202	Jídelna	18	7,91	26,9	109,4	773	0,18	59
			7,91	26,8	111,1	730	0,16	59
2.203	Koupelna	18	10,19	32,1	119,8	906	0,15	68
2.204	Pokoj	10	7,99	23,8	63,2	306	0,16	50
2.205	Pokoj	10	13,81	24,0	57,2	568	0,17	80
2.206	Pokoj	10	11,78	24,1	59,0	500	0,17	70
2.207	WC	10	2,49	25,5	82,3	146	0,13	20
2.208	Pokoj	10	8,39	24,2	60,2	363	0,17	50
2.209	Chodba	10	13,02	23,8	53,4	510	0,19	70
2.210	Schodiště	----	11,34	----	----	500	----	----
						11 785		

Dalším zařízením, které odebírá elektrickou energii, je regulátor. Skládá se z centrální regulace Danfoss link CC WiFi o příkonu $E_{reg2} = 2$ W, z dvaceti podlahových termostatů Danfoss FT o příkonu $E_{reg1} = 1$ W a jednoho prostorového termostatu, umístěný ve schodišti, Danfoss Link RS, jež má v sobě zabudovány baterie, tudíž u ní spotřebu elektrické energie nebudu uvažovat. Předpokládám, že budou v provozu po celý rok 24 hodin denně.

$$E_{reg} = (20 \cdot E_{reg1} + E_{reg2}) \cdot 24 \cdot 365 \quad (\text{kWh/rok}) \quad (21)$$

$$E_{reg} = (20 \cdot 0,001 + 0,002) \cdot 24 \cdot 365 = 192,72 \text{ kWh/rok}$$

Dá se předpokládat, že při tomto vytápění vznikají velmi zanedbatelné ztráty, lze s určitou pravděpodobností říci, že účinnost je 100 % ($E_{r,vyt} = Q_{r,vyt}$).

$$E_r = E_{r,vyt} + E_{r,TUV} + E_{reg} = 23936 + 7424,1 + 192,72 = 31552,82 \text{ kWh/rok} \quad (22)$$

Celková spotřeba elektrické energie činí **31,553 MWh/rok**.

7.2. (a2) Tepelné čerpadlo země/voda

Jedná se o Tepelné čerpadlo NIBE F1226 o jmenovitém tepelném výkonu 12 kW. Tento produkt obsahuje jak tepelné čerpadlo samotné, tak ohřívač vody, doplňkový elektrokotel a inteligentní řídicí systém. Tepelné čerpadlo je připojeno na jmenovité napětí 3/N/PE ~ 400V/50Hz. Je použit motorový jistič C hodnoty 3 x 20 A. Třída energetické účinnosti je A+++.

Ohřívač vody je vestavěný o objemu 180 litrů s ohřevem na dva režimy, a to jen tepelným čerpadlem nebo současně tepelné čerpadlo a elektrická patrona, nebo v největších mrazech pouze elektrická patrona. Elektrokotel slouží jako doplňkový s nastavitelným výkonem po 1 kW až do 9 kW. Výrobce uvádí, že hloubka vrtu u tohoto tepelného čerpadla činí 205 metrů. U tepelného čerpadla země/voda se určuje místo venkovní teploty, teplota primárního okruhu resp. teplota z okruhu geotermálního vrtu. Například při teplotě primárního okruhu 0 °C je venkovní teplota -15 °C. V tabulce (viz. Tab. 7.2) jsou informace o tepelném výkonu, elektrické příkonu, potažmo topném faktoru (COP), při různých venkovních teplotách. U elektrického výkonu je započítán i příkon čerpadel topného média do podlahového vytápění. Schéma vnitřního zapojení lze vidět na obrázku (viz. Obr. 7.2). [26]

Tab. 7.2: Vlastnosti tepelného čerpadla

Venkovní teplota/výstup	10/35°C	0/35°C	0/45°C	-5/45°C	-15/45°C
Tepelný výkon (kW)	15,28	13,77	13,12	12,37	10,88
Elektrický příkon (kW)	2,68	2,68	3,14	3,14	3,14
COP (-)	5,70	5,14	4,18	3,94	3,46

7.2.1. Bivalentní provoz

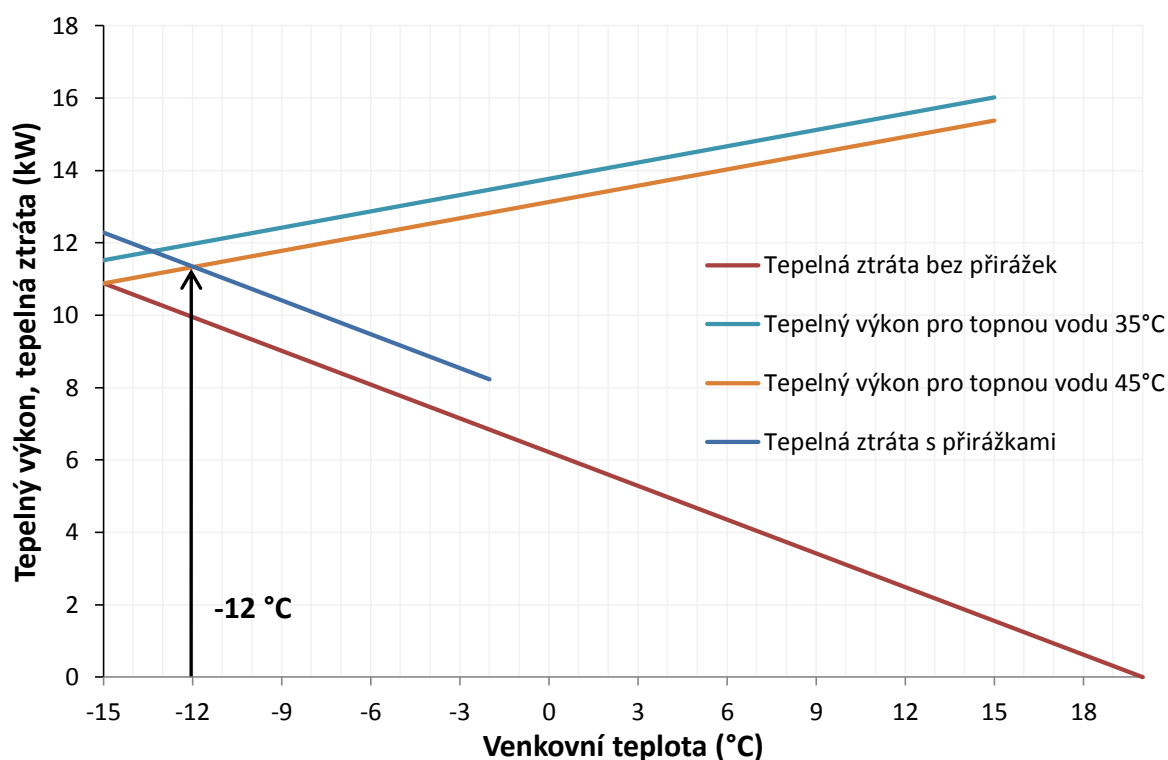
U většiny tepelných čerpadel se počítá s tím, že budou v tzv. bivalentní provozu, resp. mají doplňkový zdroj tepla, jestliže teplota klesne pod bivalentní bod, tedy bod kdy dochází ke spuštění doplňkového zdroje tepla. Bivalentní bod je průsečíkem přímek tepelné zátěže objektu s přírážkami Φ a tepelného výkonu tepelného čerpadla pro topnou vodu 45 °C. Tímto bodem je označena venkovní teplota. I u tohoto tepelného čerpadla, zjistím jeho bivalentní bod. V předchozích kapitolách jsem zjistil tepelnou ztrátu domu, to však u tepelného čerpadla nestačí, jelikož musím počítat s tím, že budu ohřívat i TUV. Při bivalentním bodu dochází k tomu, že tepelné čerpadlo nedokáže v dostatečném čase vyhrát ani TUV ani vytápění, viz rovnice (23). Při této teplotě je dodatečná tepelná zátěž objektu uvažována na $\Phi_{TUV} = 1,4$ kW.

$$t_{TUV,bb} = \frac{Q_{TUV,d}}{\Phi_{TUV}} = \frac{17,442}{1,4} = 12,46 \text{ hod} \quad (23)$$

Tak dlouho samozřejmě nemůžeme čekat na teplou vodu, proto je vevnitř ohřívače zabudována elektrická patrona. Pod bivalentním bodem má elektrická patrona tepelný výkon 6 kW. Zaměříme se spíše na hodnotu $\Phi_{TUV} = 1,4 \text{ kW}$. Tato ztráta se přičítá k tepelné ztrátě domu, čímž logicky vzroste tepelná ztráta. Tomuto součtu se říká tepelná zátěž objektu Φ (viz. rovnice (24)).

$$\Phi = \Phi_Z + \Phi_{TUV} = 10,885 + 1,4 = 12,285 \text{ kW} \quad (24)$$

V následujícím grafu (viz. Obr. 7.1) jsou vidět tepelné ztráty a tepelný výkon tepelného čerpadla. Je zřejmé, že tepelné ztráty s přírážkami (viz. Obr. 7.1) jsou větší, než ty bez přírážek, a to z toho důvodu, že obsahují, tepelnou zátěž způsobenou ohřev TUV. Dalšími křivkami jsou tepelné výkony pro topnou vodu. Je důležité vědět, že tepelné čerpadlo vyhřívá vodu pro vytápění na 35°C , je-li venkovní teplota do 0°C . Nad tuto teplotu je teplota topné vody 45°C . I když je teplota přívodu podlahového vytápění 40°C , je potřeba počítat se ztrátami. Nejdůležitějším údajem je zde samozřejmě bivalentní bod, který je určen na -12°C .



Obr. 7.1: Určení bivalentního bodu

7.2.2. Spotřeba energií na vytápění a ohřev TUV

V předchozí podkapitole 7.2.1 jsem zjistil, při jaké teplotě má sepnout doplňkový zdroj tepla elektrokotel resp. bivalentní bod tepelného čerpadla. Ke správnému odhadu, kdy má sepnout doplňkový zdroj, potřebuji meteorologické údaje z předchozích let, které jsou obsaženy v následující

tabulce (viz. Tab. 7.3). Z těch je jasné že roky 2012 a 2017 byly nejchladnější, co se počtu dní týče a výrazně převyšují ostatní roky. Průměrný počet dní činí $d_{bb} = 9$ dní.

Tab. 7.3: Meteorologické údaje [27]

Období	Průměrná teplota pod bivalentním bodem	Počet dnů pod bivalentním bodem
2012	-15 °C	18
2013	-13 °C	3
2014	-13 °C	3
2015	-15 °C	2
2016	-14 °C	2
2017	-17 °C	14
Průměr	-15 °C	9

Střední venkovní teplota od roku 2012 až 2017, během těchto mrazivých dnů, činí -15 °C. To znamená, že elektrokotel musí pokrýt ztrátu $\Phi_{zpb} = 1,405$ kW (viz. rovnice (25)), je to tedy rozdíl tepelné ztráty s přírážkami $\Phi = 12,285$ kW a tepelným výkonem tepelného čerpadla při -15 °C $\Phi_{tv,-15} = 10,88$ kW.

$$\Phi_{zpb} = \Phi - \Phi_{tv,-15} = 12,285 - 10,88 = 1,405 \text{ kW} \quad (25)$$

Elektrokotel ale spíná kaskádově po určitých tepelných výkonech, a to po jednom kilowattu. To znamená, že nejbližší tepelný výkon pro pokrytí tepelné ztráty 1,405 kW je $\Phi_{elk} = 2$ kW. Jelikož dům má sazbu s čtyřhodinovým blokováním, tepelné čerpadlo pojede 20 hodin za den. V rovnici (26) je zjištěna spotřeba elektrické energie elektrokotle E_{elk} .

$$E_{elk} = \Phi_{elk} \cdot 20 \cdot d_{bb} = 2 \cdot 20 \cdot 9 = 360 \text{ kWh} \quad (26)$$

Do venkovní teploty -2 °C včetně je tepelné čerpadlo schopno samo ohřát vodu za jeden den za čas $t_{TUV,TČ1}$, a to při tepelném výkonu $P_{t1} = 6$ kW.

$$t_{TUV,TČ1} = \frac{Q_{TUV,d}}{P_{t1}} = \frac{17,442}{6} = 2,91 \text{ hod} \quad (27)$$

Při nižších teplotách se snižuje jejich tepelný výkon pro ohřev TUV. Mezi teplotou -2 až -5 °C je průměrná venkovní teplota -2,8 °C trvající 21 dní. Při této teplotě tepelné čerpadlo dokáže pokrýt tepelný výkon, který je roven $P_{t2} = 5,6$ kW, a ohřát vodu za jeden den $t_{TUV,TČ2}$.

$$t_{TUV,TČ2} = \frac{Q_{TUV,d}}{P_{t2}} = \frac{17,442}{5,6} = 3,11 \text{ hod} \quad (28)$$

Mezi teplotou -5 až -8 °C je průměrná venkovní teplota -6 °C trvající 14 dní. Při této teplotě tepelné čerpadlo dokáže pokrýt tepelný výkon, který je roven 4,1 kW. Při těchto teplotách je spuštěna i

elektrická patrona o výkonu 3 kW, jejíž spotřeba $E_{TUV,TČ3}$ je v rovnici (30). Voda se ohřeje za jeden den za čas $t_{TUV,TČ3}$.

$$t_{TUV,TČ3} = \frac{Q_{TUV,d}}{P_{t3}} = \frac{17,442}{4,1 + 3} = 2,46 \text{ hod} \quad (29)$$

$$E_{TUV,TČ3} = (P_{t3} - 4,1) \cdot t_{TUV,TČ3} \cdot d_{TČ3} \quad (\text{kWh}) \quad (30)$$

$$E_{TUV,TČ3} = (4,1 + 3 - 4,1) \cdot 2,46 \cdot 14 = 103,32 \text{ kWh}$$

Mezi teplotou -8 až -12 °C je průměrná venkovní teplota -9,4 °C za $d_{TČ4} = 8$ dní. Při této teplotě tepelné čerpadlo dokáže pokrýt tepelný výkon, který je roven 2,6 kW. Jelikož by to byla dlouhá doba ohřevu, tak se k ohřevu přidává elektrická patrona o výkonu 3 kW, jejíž spotřeba $E_{TUV,TČ4}$ je v rovnici (32). Voda se ohřeje za jeden den za čas $t_{TUV,TČ4}$.

$$t_{TUV,TČ4} = \frac{Q_{TUV,d}}{P_{t4}} = \frac{17,442}{2,6 + 3} = 3,11 \text{ hod} \quad (31)$$

$$E_{TUV,TČ4} = (P_{t4} - 2,6) \cdot t_{TUV,TČ4} \cdot d_{TČ4} \quad (\text{kWh}) \quad (32)$$

$$E_{TUV,TČ4} = (2,6 + 3 - 2,6) \cdot 3,11 \cdot 8 = 74,64 \text{ kWh}$$

Pod bivalentním bodem, který je určen na -12 °C, se o ohřev stará pouze elektrická patrona o výkonu $P_{tel} = 6$ kW, jejíž spotřeba $E_{TUV,el}$ je v rovnici (34). Pod touto teplotu by tepelné čerpadlo nevytopilo ani vytápěcí soustavu a neohřálo na dostatečnou teplotu TUV. Navíc ohřev by byl příliš dlouhý. Voda se ohřeje za jeden den za čas $t_{TUV,el}$.

$$t_{TUV,el} = \frac{Q_{TUV,d}}{P_{tel}} = \frac{17,442}{6} = 2,91 \text{ hod} \quad (33)$$

$$E_{TUV,el} = P_{tel} \cdot t_{TUV,el} \cdot d_{bb} \quad (\text{kWh}) \quad (34)$$

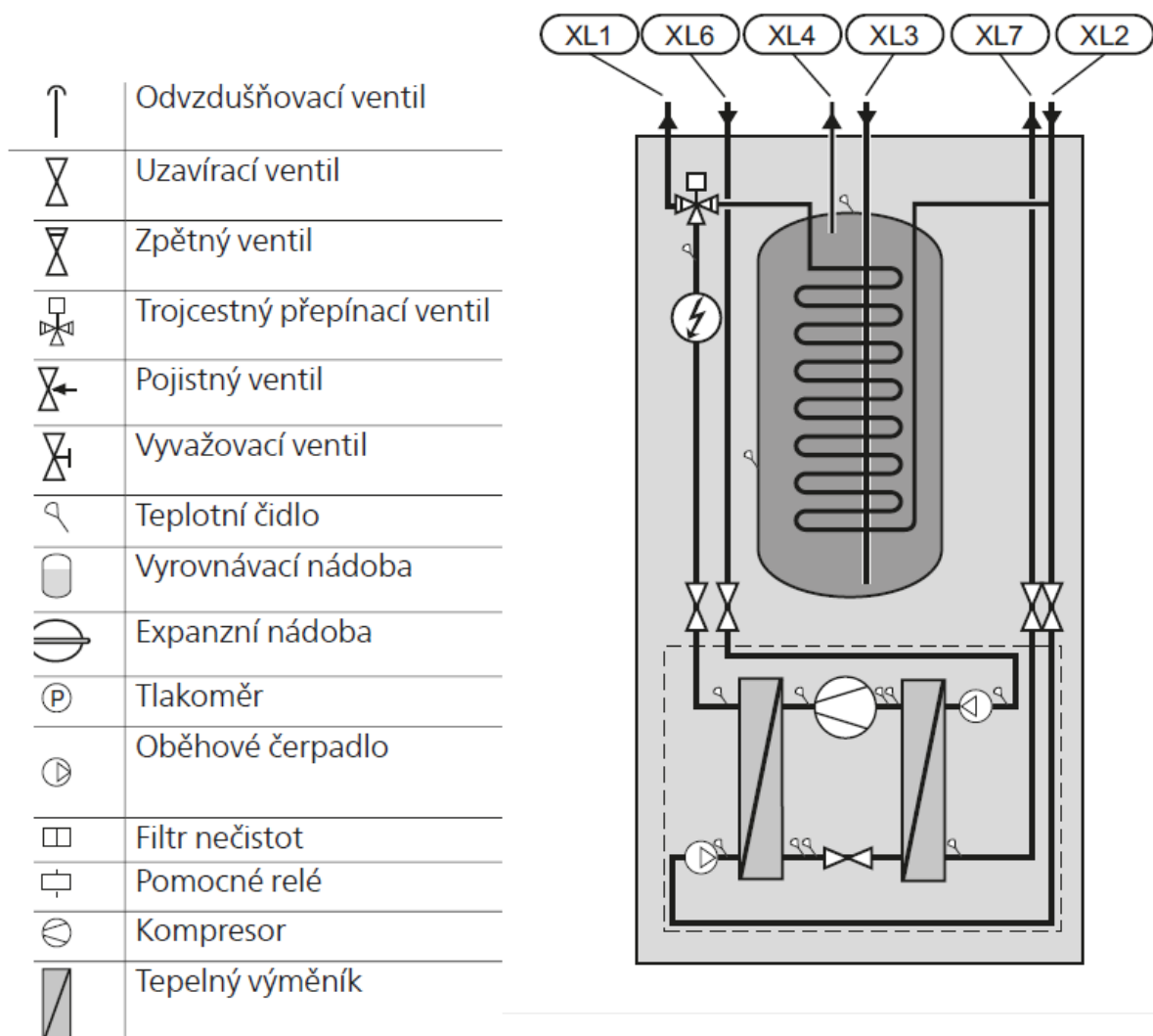
$$E_{TUV,el} = 6 \cdot 2,91 \cdot 9 = 157,14 \text{ kWh}$$

V rovnici (35) je vypočítán čas oběhového čerpadla pro TUV, kdy se nevytápí $t_{TUV,n}$.

$$t_{TUV,n} = t_{TUV,TČ1} \cdot (365 - d) = 2,91 \cdot (365 - 236) = 375,39 \text{ hod} \quad (35)$$

Podle výrobce má oběhové čerpadlo výkon $P_{TUV} = 0,07$ kW. Jelikož znám všechny časy pro ohřev TUV, mohu zjistit spotřebu elektrické energie pro oběhové čerpadlo $E_{TUV,n}$. Pro mě je ale důležitý čas $t_{TUV,n}$, kdy se nevytápí, tedy kdy není vytápěcí sezóna, protože s ohřevem TUV při topné sezóně bude zároveň v provozu i topná voda, která má společné oběhové čerpadlo jako ohřívač TUV.

$$E_{TUV,n} = P_{TUV} \cdot t_{TUV,n} = 0,07 \cdot 375,39 = 26,28 \text{ kWh} \quad (36)$$



- XL 1 Připojení, výstup topného média
 XL 2 Připojení, vratná topného média
 XL 3 Připojení, studená voda
 XL 4 Připojení, teplá voda
 XL 6 Připojení, primární okruh vstup
 XL 7 Připojení, primární okruh výstup

Obr. 7.2: Schéma vnitřního zapojení tepelného čerpadla [26]

Příkon čerpadla pro primární okruh činí $P_{po} = 190$ W. Čerpadlo bude v provozu po celý den, kromě čtyřhodinového sazebního blokování, což činí 20 hodin. Tento čas vynásobím dny, kdy je topná sezóna resp. $d = 236$ dní. Spotřeba elektrické energie primárního okruhu E_{po} je v rovnici (37).

$$E_{po} = P_{po} \cdot (t_{UV,n} + 20 \cdot d) = 0,19 \cdot (375,39 + 20 \cdot 236) = 968,12 \text{ kWh} \quad (37)$$

Nyní můžu sečíst celkovou spotřebu elektrické energie $E_{T\check{c},p}$ na čerpadla a ohřivače TUV, ohřevu TUV elektrickou patronou, oběhových čerpadel pro vytápění, TUV, podlahové vytápění a primární okruh tepelného čerpadla.

$$E_{T\check{c},p} = E_{elk} + E_{TUV,T\check{c}4} + E_{TUV,T\check{c}4} + E_{TUV,el} + E_{TUV,n} + E_{po} \quad (\text{kWh/rok}) \quad (38)$$

$$E_{T\check{c},p} = 360 + 74,64 + 103,32 + 157,14 + 26,28 + 968,12$$

$$E_{T\check{c},p} = 1689,5 \text{ kWh/rok}$$

Abych zjistil spotřebu elektrické energie na vytápění a ohřev TUV, musím odečíst celkovou potřebu tepla $Q_r = 28,225 \text{ kWh/rok}$ od potřeby tepla krytý elektrokotlem E_{elk} a elektrickou patronou $E_{TUV,el}$ a $E_{TUV,T\check{c}4}$.

$$\eta_{elk} = \frac{E_{elk} + E_{TUV,el} + E_{TUV,T\check{c}4} + E_{TUV,T\check{c}3}}{E_r} \cdot 100 \quad (39)$$

$$\eta_{elk} = \frac{360 + 157,14 + 74,64 + 103,32}{28225} \cdot 100 = 2,46 \%$$

$$\eta_{T\check{c}} = 100 - \eta_{elk} = 100 - 2,46 = 97,54 \% \quad (40)$$

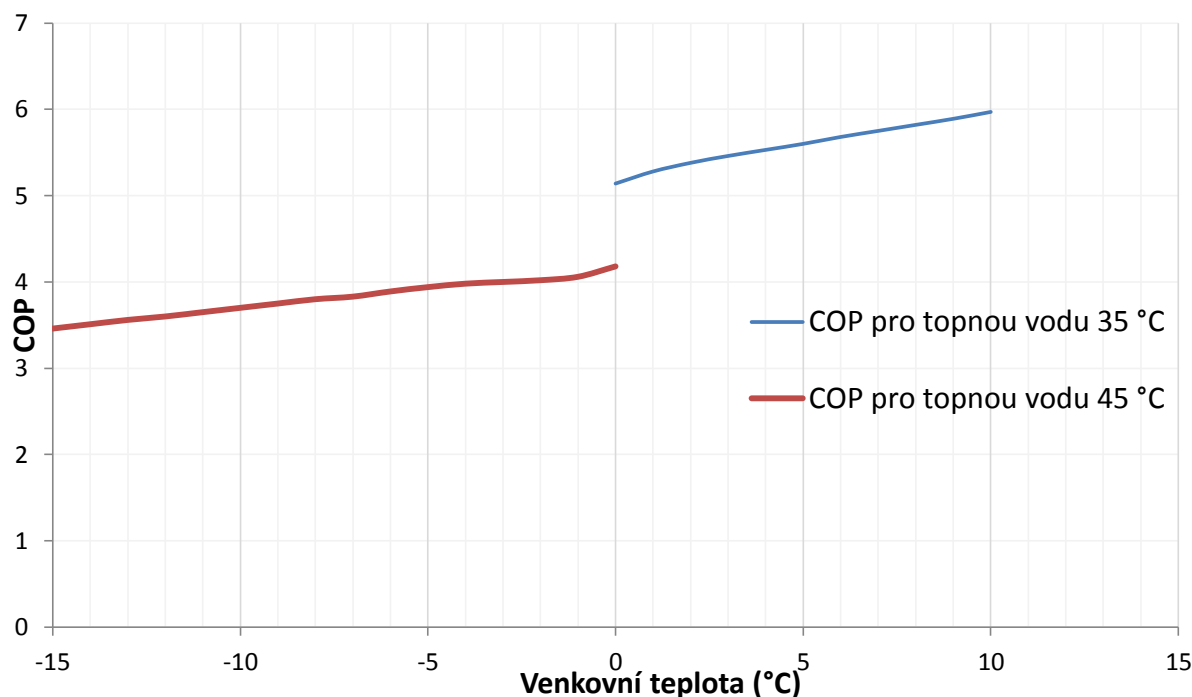
Nyní jsem zjistil jak procentní pokrytí elektrokotlem a elektrickou patronou η_{elk} , tak pokrytí tepelným čerpadlem $\eta_{T\check{c}}$. Další důležitý údaj pro výpočet spotřeby elektrické energie tepelného čerpadla $E_{T\check{c}}$ je průměrný topný faktor $SCOP$. Průměrný topný faktor za rok tepelného čerpadla je $SCOP = 4,53$. Hodnoty topného faktoru COP jsem zjistil z grafu (viz. Obr. 7.3). V rovnici tedy zjistím spotřebu elektrické energie tepelného čerpadla $E_{T\check{c}}$ pokrývající vytápění a ohřev TUV. Jelikož se jedná o elektroohřev, je možné se domnívat, že je účinnost 100 %. Tzn. mohu předpokládat, že $Q_{T\check{c}} = E_{T\check{c}}$, a naopak.

$$E_{T\check{c}} = Q_{T\check{c}} = \frac{Q_r \cdot \eta_{T\check{c}}}{SCOP} \cdot \frac{1}{100} = \frac{28225 \cdot 97,54}{4,53} \cdot \frac{1}{100} = 6126,63 \text{ kWh/rok} \quad (41)$$

A nakonec určím celkovou spotřebu elektrické energie E_r , pokrytý na vytápění, ohřev a ostatních prvků jako oběhové čerpadla.

$$E_r = E_{T\check{c}} + E_{T\check{c},p} = 6126,63 + 1689,5 = 7816,13 \text{ kWh/rok} \quad (42)$$

Celková spotřeba elektrické energie pro tepelné čerpadlo činí 7 816,13 kWh/rok.



Obr. 7.3: Topný faktor během roku

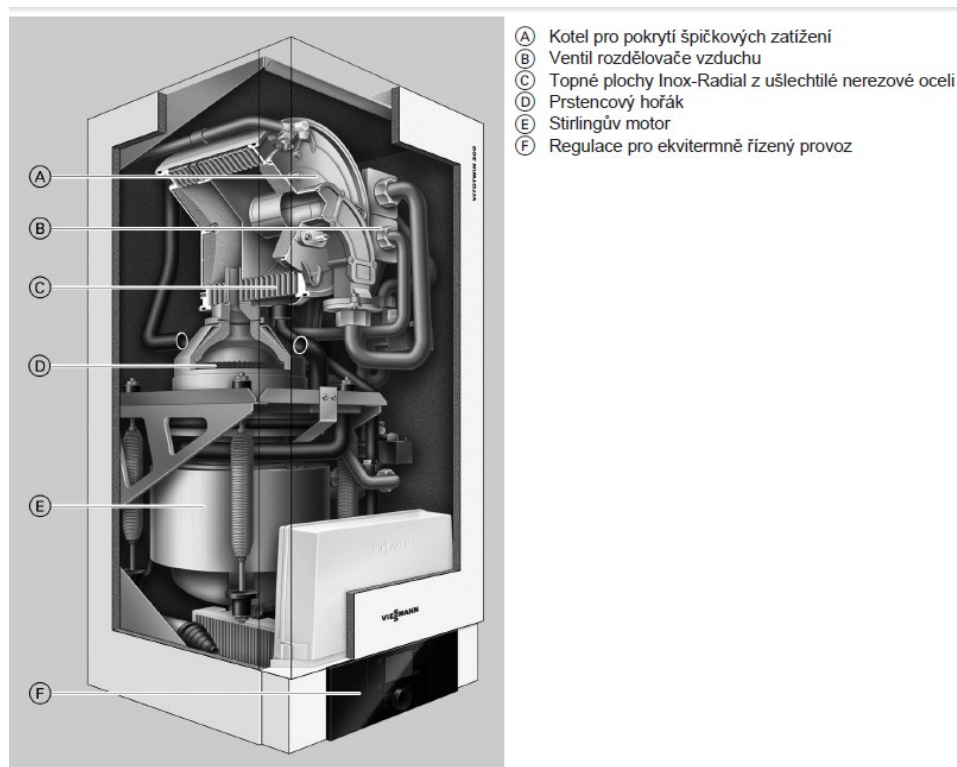
7.3. (a3) Mikrokogenerační jednotka

Vybral jsem výrobek firmy VIESSMANN s produktovým názvem Vitotwin 300-W, jejíž vlastnosti jsou v tabulce (viz. Tab. 7.4). Jedná se mikrokogeneraci na bázi Stirlingova motoru, s integrovaným kondenzačním plynovým kotlem pro krytí špičkového zatížení. Potřeba tepla je pokryta v každém okamžiku, nejvyšší tepelný výkon může být až 26 kW. Mikrokogenerační jednotka bude provozována s akumulací nádrží Vitocell 140-E o objemu 400 litrů, jehož účinnost je 97 %. O ohřev teplé vody se bude starat zásobníkový ohřívač vody od firmy Dražice OKC 200 NTR/Z, jehož objem 200 litrů. Tento ohřívač bude zapojen vně jednotky Vitotwin 300-W. [22]

Tab. 7.4: Parametry mikrokogenerační jednotky Vitotwin 300-W [22]

Stirlingův motor		Kondenzační plynový kotel	
Tepelný výkon (kW)	6	Tepelný výkon (kW)	4,8 - 20
Elektrický výkon (kW)	1		
Účinnost jednotky (%)	96	Účinnost jednotky (%)	98

Předpokládaný elektrický příkon soustavy resp. oběhového čerpadla je 70 W. Oběhové čerpadla pro podlahové vytápění elektrický příkon 2x40 W. Jelikož oba zdroje tepla pojedou společně, budu uvažovat jejich průměrnou účinnost, jež činí 97 %. Pro tento zdroj tepla jsem vybral teplovodní podlahové vytápění, jehož schéma jsou v příloze (viz. Příloha 1 a Příloha 2). Schéma mikrokogenerační jednotky je vidět na následujícím obrázku (viz. Obr. 7.4). [22]



Obr. 7.4: Vnitřní schéma mikrokogenerační jednotky Vitotwin 300-W [22]

7.3.1. Spotřeba energií na vytápění a ohřev TUV

O ohřev teplé vody se stará zásobníkový ohřívač vody od firmy Dražice OKC 200 NTR/Z o 200 litrů. Při ohřevu z 10 na 60 °C se pitná voda ohřeje za $t_{TUV,vyt} = 0,47$ hodin (28 minut), tepelný výkon 24 kW. Tímto způsobem se voda bude ohřívat pouze při vytápění. Jinak se bude ohřívat voda stirlingovým motorem o tepelném výkonu 6 kW, voda se ohřeje $t_{TUV,leto} = 2,91$ hodin. To znamená, že bude v provozu jen stirlingův motor.

$$t_{TUV,1r} = t_{TUV,vyt} \cdot d = 0,47 \cdot 236 = 110,92 \text{ hod} \quad (43)$$

$$t_{TUV,2r} = t_{TUV,leto} \cdot (365 - 236) = 2,91 \cdot (365 - 236) = 375,39 \text{ hod} \quad (44)$$

A roční spotřebu plynu na TUV $Q_{TUV,mj}$ zjistím podělením potřeby tepla na TUV a účinností mikrokogenerační jednotky a ohřívače TUV.

$$Q_{TUV,mj} = \frac{Q_{TUV,r}}{\eta_{mj} \cdot \eta_{TUV}} = \frac{6,116 \cdot 10^3}{0,97 \cdot 0,86} = 7331,58 \text{ kWh} \quad (45)$$

Spotřebu plynu pro ohřev TUV jsem vypočítal, nyní je důležité zjistit spotřebu plynu, kterou potřebuje ke svému provozu mikrokogenerační jednotka $Q_{vyt,mj}$.

$$Q_{vyt,mj} = \frac{Q_{vyt,r}}{\eta_{mj} \cdot \eta_{aku}} = \frac{22,109 \cdot 10^3}{0,97 \cdot 0,97} = 23497,72 \text{ kWh} \quad (46)$$

7.3.2. Akumulace a potřeba elektřiny z mikrokogenerační jednotky

Jak již bylo zmíněno, mikrokogenerační jednotka vyrábí zároveň teplo a elektrický proud. VIESSMAN nabízí akumulátor s produktovým názvem Akumulační systém proudu, s technologií článku využívající lithium – kobalt – mangan – nikl – oxid. Pro daný objekt bude uchovávat elektrickou energii, která je dodána z mikrokogenerační jednotky, a to hlavně z toho důvodu, aby se dům stal nezávislý na dodávce elektrické energie od distributora, a také aby potřebná elektrická energie byla dodána i v případě, že mikrokogenerační jednotka nebude schopna pokrýt spotřebu elektrické energie rodinného domu. Rodinný dům bude i nadále připojen k síti, kdyby došlo k poruše u mikrokogenerační jednotky. Akumulátor se bude nabíjet v době, kdy bude nejmenší nebo žádná spotřeba elektrické energie. Tento systém je vhodný pro možnost velkého vybíjení vyššího množství energie, a zároveň vhodný pro rychlé nabíjení. Tento systém obsahuje Proudový akumulátor, měnič a počítadlo energie. Proudový akumulátor dokáže akumulovat až $E_{ap} = 5,5 \text{ kWh}$, z toho vybíjitelnost (využitelnost) η_{vyb} je 80 % z akumulátoru, to znamená, že vybíjení akumulátoru se ukončí při napětí 37,8 V, nabíjecí cyklus je ukončen při napětí 58,8 V. Jmenovité stejnosměrné napětí akumulátoru je 48 V. Kapacita baterie je 106 Ah, účinnost $\eta_{ap} = 0,98$. Měnič má tyto parametry pro střídavé napájení. Střídavé napětí 230 V, frekvence 50 Hz, proud 20 A, krátkodobě po dobu 60 milisekund 120 A. Na základě počítadla energie rozezná měnič, zda může být proudový akumulátor nabíjen nebo vybíjen. Pro nabíjení proudového akumulátoru přemění měnič v budově přebývajícím střídavý proud na stejnosměrný. V případě vybíjení proudového akumulátoru přemění měnič uložený stejnosměrný proud opět na střídavý. Schéma zapojení potažmo paralelní provozu sítě rodinného domu je v příloze (viz. Příloha 7).

Nevytápěcí doba:

I v době nevytápění bude potřeba elektrického příkonu k akumulaci a spotřebě elektrické energie. V nevytápěcí době bude v provozu jen stirlingův motor s elektrickým příkonem $P_{mj} = 1 \text{ kW}$, nicméně musím uvažovat spotřebu samotné soustavy Vitotwin, která bude energii odebírat přímo (při vytápění 150 W, při nevytápění 70 W). Při nevytápění je doba nabíjení akumulátoru t_{ap} .

$$t_{ap} = \frac{E_{ap}}{(P_{mj} - 0,07) \cdot \eta_{ap}} (365 - 236) \quad (47)$$

$$t_{ap} = \frac{5,5}{(1 - 0,07) \cdot 0,98} (365 - 236) = 778,47 \text{ hod}$$

Ovšem na pokrytí spotřeby elektrické energie to nestačí, navíc využitelnost baterie je 80 %, resp. $\eta_{vyb} = 0,8$. Z toho vyplývá, že mikrokogenerace musí ještě po určitou dobu být v provozu, tedy po dobu t_{dpl} .

$$E_{dpl} = E_{d,s} - (E_{ap} \cdot \eta_{vyb}) = 6024,45 \cdot 10^{-3} - (5,5 \cdot 0,8) = 1,625 \text{ kWh} \quad (48)$$

$$t_{dpl} = \frac{E_{dpl}}{(P_{mj} - P_{oč}) \cdot \eta_{ap}} \cdot (365 - d) \quad (49)$$

$$t_{dpl} = \frac{1,625}{(1 - 0,07) \cdot 0,98} \cdot (365 - 236) = 230 \text{ hod}$$

Během nevytápěcí doby je potřeba, aby oběhové čerpadlo mikrokogenerační jednotky o výkonu $P_{oč} = 0,07 \text{ kW}$ bylo pokryto taky vyrobenou elektřinou této jednotky.

$$E_{oč,n} = P_{oč} \cdot (t_{ap} + t_{dpl}) = 0,07 \cdot (778,47 + 230) = 70,59 \text{ kWh} \quad (50)$$

Potřeba elektrické energie pro dům během nevytápění E_{nev} je v rovnici (51), je zde i započítána spotřeba elektrické energie pro oběhové čerpadlo během nevytápění $E_{oč,n}$.

$$E_{nev} = \frac{E_{d,s} \cdot (365 - 236)}{\eta_{ap}} + \frac{E_{oč,n}}{\eta_{ap}} \quad (\text{kWh}) \quad (51)$$

$$E_{nev} = \frac{6024,45 \cdot 10^{-3} \cdot (365 - 236)}{0,98} + \frac{70,59}{0,98} = 865,04 \text{ kWh}$$

Je nutné započítat i vyrobené teplo stirlingovým motorem během nevytápění Q_{th} .

$$Q_{th} = \frac{P_{th} \cdot (t_{ap} + t_{dpl})}{\eta_{TUV} \cdot \eta_{aku}} = \frac{6 \cdot (778,47 + 230)}{0,86 \cdot 0,97} = 7253,44 \text{ kWh} \quad (52)$$

Toto teplo pokrývá i ohřev TUV i teplo v akumulární nádrži. Tzn., Zjistím, kolik tepla pokryje TUV $Q_{TUV,n}$ a akumulární zásobník Q_{aku} .

$$Q_{TUV,n} = Q_{TUV,d} \cdot (365 - d) = 17,442 \cdot (365 - 236) = 2250,02 \text{ kWh} \quad (53)$$

$$Q_{aku} = Q_{th} - Q_{TUV,n} = 7253,44 - 2250,02 = 5003,42 \text{ kWh} \quad (54)$$

Vytápěcí doba:

Oběhové čerpadlo mikrokogenerace v době vytápění bude v provozu ještě se dvěma čerpadly na podlahové vytápění (150 W), což reprezentuje v rovnici (55) $P_{oč,v} = 0,15 \text{ kW}$. Tzn., změní se doba nabíjení t_{apl} a t_{dpl} .

$$t_{apl} = \frac{E_{ap}}{(P_{mj} - P_{oč,v}) \cdot \eta_{ap}} \cdot d = \frac{5,5}{(1 - 0,15) \cdot 0,98} \cdot 236 = 1558,22 \text{ hod} \quad (55)$$

$$t_{dpl1} = \frac{E_{dpl}}{(P_{mj} - P_{o\check{c},v}) \cdot \eta_{ap}} \cdot d = \frac{1,625}{(1 - 0,15) \cdot 0,98} \cdot 236 = 460,38 \text{ hod} \quad (56)$$

Během vytápěcí doby je potřeba, aby oběhová čerpadla mikrokogenerační jednotky o celkovém výkonu $P_{o\check{c},v} = 0,15 \text{ kW}$ bylo pokryto taky vyrobenou elektřinou této jednotky $E_{o\check{c},v}$.

$$E_{o\check{c},v} = P_{o\check{c},v} \cdot (t_{ap1} + t_{dpl1}) = 0,15 \cdot (1558,22 + 460,38) = 302,79 \text{ kWh} \quad (57)$$

Potřeba elektrické energie pro rodinný dům během vytápění E_{vyt} .

$$E_{vyt} = \frac{E_{d,s} \cdot d}{\eta_{ap}} + \frac{E_{o\check{c},v}}{\eta_{ap}} \quad (58)$$

$$E_{vyt} = \frac{6024,45 \cdot 10^{-3} \cdot 236}{0,98} + \frac{302,79}{0,98} = 1759,75 \text{ kWh}$$

7.3.3. Celková spotřeba plynu a elektrické energie

Celková spotřeba plynu pokrytá stirlingovým motorem na elektrickou energii Q_{el} činí:

$$Q_{el} = \frac{E_{nev}}{\eta_{srl}} + \frac{E_{vyt}}{\eta_{srl}} + \frac{Q_{th}}{\eta_{srl}} \quad (59)$$

$$Q_{el} = \frac{865,04}{0,96} + \frac{1759,75}{0,96} + \frac{7253,44}{0,96} = 10289,82 \text{ kWh}$$

Celková spotřeba plynu $Q_{p,r}$ je tedy součet spotřeb plynu pro vytápění, ohřev TUV a elektřinu.

$$Q_{p,r} = Q_{vyt,mj} + Q_{TUV,mj} + Q_{el} \quad (60)$$

$$Q_{p,r} = 23497,72 + 7331,58 + 10289,82 = 41119,12 \text{ kWh/rok}$$

A konečně můžu spočítat spotřebu elektrické energie, což jsou oběhové čerpadla. Tato elektrická energie již je započítána do spotřeby pokrývané mikrokogenerací.

$$E_r = E_{o\check{c},n} + E_{o\check{c},v} \quad (61)$$

$$E_r = 70,59 + 302,79 = 373,38 \text{ kWh/rok}$$

Celková spotřeba plynu činí **41119,12 kWh/rok** a spotřeba elektrické energie mikrokogenerační jednotky **373,38 kWh/rok**.

8. Ekonomické zhodnocení

V této kapitole se zabývám ekonomickou problematikou. Přiblížím čtenáři, kolik stojí jednotlivé zdroje tepla a jaké jsou jejich provozní náklady. Ke každému energetickému zdroji započítám i spotřebu elektrické energie rodinného domu skládající se z osvětlení a spotřebičů. U některých zdrojů resp. mikrokogenerační jednotky musím zjistit i provozní náklady na plyn. Navíc tato jednotka vyrábí elektrickou energii, takže může dojít k situaci, kdy distributor zaplatí samotnému majiteli za vyrobenou elektřinu, která je přivedena do sítě.

8.1. (a1) Elektrické podlahové vytápění

Dá se očekávat, že elektrické podlahové vytápění, bude nejnáročnější na spotřebu elektrické energie. O tom svědčí i výkon $\Phi_{epv} = P_{epv} = 11\,785\text{ W}$ (předpokládám, že elektrické podlahové vytápění nemá žádné ztráty, tudíž tepelný výkon je totožný s elektrickým).

8.1.1. Investiční náklady

V tabulce (viz. Tab. 8.1) je rozepsána cena za položky k vytápění. Cena byla zjištěna z více obchodů na internetu, jelikož nebylo možné je dohledat v programu TechCON, který po navržení schéma elektrického vytápění uvedlo vše potřebné pro koupi, ale ne samotnou cenu. Schéma připojení jednotlivých pater elektrického podlahového vytápění je v příloze (viz. Příloha 3 a Příloha 4). [6], [7], [8], [9], [23], [24], [25]

Tab. 8.1: Cena elektrického podlahového vytápění

Označení	Cena (Kč)
DEVI kabel DEVIflex 10 W/m	50 241
DEVI kabel DEVIflex 18 W/m	22 618
Centrální regulace - Danfoss link CC WiFi (1 ks)	7 644
Podlahová regulace - Danfoss FT (20 ks)	38 820
Prostorová regulace - Danfoss Link RS (1 ks)	2 126
Jistič OEZ LTN-10B-1 (20 ks)	1 626
Jistič OEZ LTN-16B-1 (1 ks)	86
Hetta H50 500W topný panel	6 000
Reflexní fólie pod podlahové topení	8 623
Obvodový dilatační pás	4 454
Kovový montážní pás DEVIfast	8 880
Celková cena vč. DPH	151 118

Celková cena se tedy skládá z topných kabelů, regulace, která se skládá z 20 kusů podlahových termostatů a jednoho kusu prostorového termostatu, určen pro topný panel. Tyto termostaty jsou na

dálku řízeny centrální regulací. Všechny topné kabely jsou jištěny jističi o jmenovitém proudu 10 A potažmo 16 A. Topné kabely se pokládají na kovový montážní pás DEVIfast. Pod tento pás se dává reflexní fólie, která nepropouští teplo dolů, nýbrž ho odráží. Nejdražší položkou jsou samozřejmě topné kabely, které stojí zhruba 70 tisíc. Druhou nejdražší položkou je regulace, která stojí zhruba 40 tisíc. Celková investice do elektrického podlahového vytápění činí $N_I = 151\,118$ Kč.

8.1.2. Provozní náklady

Tyto náklady budou čistě na spotřebu elektrické energie. Důležitým vodítkem pro zjištění je samozřejmě druh sazby. Pro toto vytápění je zvolena sazba D57d. Do 31. března 2016 byla pro tento druh vytápění sazba D45d, od 1. dubna 2016 je zvolena sazba D57d. Při sazbě D57d musí být splněny určité podmínky, jako například součet příkonů elektrických přímotopů musí být nejméně 40% příkonu odpovídajícího proudové hodnotě hlavního jističe před elektroměrem. Podle rovnice pod textem vypočítám protékající proud. [29]

$$I_{50} = \frac{P_{epv} + P_s + P_{el,tuv}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{11785 + 13980 + 2200}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,95} = 42,49 \text{ A} \quad (62)$$

Podle vypočítaného elektrického proudu $I_{epv} = 42,49$ A, při předpokládané soudobosti celé domácnosti s vytápěcí soustavy a ohřívacem TUV z podkapitoly 6.4.4, je hodnota hlavního jističe 3 x 50 A. Je to sice vysoká hodnota, a mohli bychom namítnout, že k takovéto situaci, kdy hodnota elektrického proudu překročí 40 A, nemusí vůbec dojít, navíc platba za jistič o kategorii nahoru je další finanční zátěž, nicméně budu počítat s touto variantou.

Tab. 8.2: Ceník E-ON pro sazbu D57d pro variantu a1 [29]

Označení		Jednotková cena	Jednotky
Cena za dodávku elektřiny	Vysoký tarif	2 056,00	Kč/MWh
	Nízký tarif	1 565,00	Kč/MWh
Stálý měsíční plat		70,00	Kč/měsíc
Sazba daně z elektřiny		34,24	Kč/měsíc
Cena za zajištění distribuce elektřiny	Vysoký tarif	171,34	Kč/MWh
	Nízký tarif	145,32	Kč/MWh
Plat za jmenovitou hodnotu hlavního jističe před elektroměrem	3x40A – 3x50A	738,00	Kč/měsíc
Systémové služby		113,67	Kč/MWh
Činnosti operátora trhu		5,93	Kč/měsíc
Podpora elektřiny z podporovaných zdrojů energie (POZE)	Dle jističe	21,79	Kč/měsíc
	Dle spotřeby	598,95	Kč/MWh

V tabulce (viz. Tab. 8.2) nad textem jsou zahrnuty všechny ceny pro platbu za elektřinu, a to jak za měsíc, tak za spotřebovanou megawatthodinu. Zaměřil bych se na část POZE. U jističe se tato částka za rok počítá jako součin částky v tabulce, počet měsíců, velikost jističe, počet fází a cena za měsíc. Dle spotřeby je to součin spotřebované elektřiny a cena za jednu megawatthodinu. Do celkové platby je započítána vždy ta z nižších částek (viz rovnice (75 a (76)). Počítá se tedy hodnota nižší, což je $POZE_s = 20\,215,61$ Kč/rok. Dalším krokem je určení spotřeby při nízkém a vysokém tarifu. Pro elektrické podlahové vytápění a ohřev TUV se počítá s tím, že spotřeba bude jen při nízkém tarifu. U vysokého tarifu, který vzniká 4 hodiny za den, to bude o hodně složitější, takřka nemožné. Proto udělám odhad, při jakém tarifu bude domácnost spotřebovávat elektřinu. Vysoký tarif trvá 4 hodiny denně a nízký tarif 20 hodin denně, přičemž operátor na trhu může tento tarif libovolně pouštět, v jakoukoliv dobu. To znamená, že za den bude v provozu nízký tarif NT v poměru 20:24 a vysoký tarif VT 4:24.

$$VT = \frac{4}{24} \cdot E_{r,s} = \frac{4}{24} \cdot 2198,93 = 366,49 \text{ kWh/rok} \quad (63)$$

$$NT = \frac{20}{24} \cdot E_{r,s} + E_r = \frac{20}{24} \cdot 2198,93 + 31552,82 = 33385,26 \text{ kWh/rok} \quad (64)$$

$$E = E_r + E_{r,s} = 31552,82 + 2198,93 = 33751,75 \text{ kWh/rok} \quad (65)$$

Všechny ceny jsou vynásobeny cenou produktu, a to buď celkovou spotřebou elektrické energie, nebo počtem měsíců v roce, záleží na jednotce dané veličiny. Celková spotřeba elektrické energie činí **$E = 33\,751,75$ kWh.**

Cena za dodávku elektřiny:

$$\text{Vysoký tarif} = 2056 \cdot VT = 2056 \cdot 366,49 \cdot 10^{-3} = 753,50 \text{ Kč} \quad (66)$$

$$\text{Nízký tarif} = 2056 \cdot NT = 2056 \cdot 33751,75 \cdot 10^{-3} = 52247,93 \text{ Kč} \quad (67)$$

Stálý měsíční plat:

$$SMP = 70 \cdot 12 = 840,00 \text{ Kč} \quad (68)$$

Sazba z daně z elektřiny:

$$34,24 \cdot 33385,03 \cdot 10^{-3} = 1155,66 \text{ Kč} \quad (69)$$

Cena za zajištění distribuce elektřiny:

$$\text{Vysoký tarif} = 171,34 \cdot VT = 171,34 \cdot 366,49 \cdot 10^{-3} = 62,79 \text{ Kč} \quad (70)$$

$$\text{Nízký tarif} = 145,32 \cdot NT = 145,32 \cdot 33385,26 \cdot 10^{-3} = 4851,55 \text{ Kč} \quad (71)$$

Plat za jmenovitou hodnotu hlavního jističe před elektroměrem:

$$738 \cdot 12 = 8856 \text{ Kč} \quad (72)$$

Systémové služby:

$$SyS = 113,67 \cdot 33385,26 \cdot 10^{-3} = 3836,56 \text{ Kč} \quad (73)$$

Činnosti operátora trhu:

$$OT = 5,93 \cdot 12 = 71,16 \text{ Kč} \quad (74)$$

POZE:

$$POZE_j = n_{12} \cdot L_3 \cdot I_{50} \cdot C_j = 12 \cdot 3 \cdot 50 \cdot 738 = 39222 \text{ Kč/rok} \quad (75)$$

$$POZE_s = E \cdot C_s = 33751,75 \cdot 10^{-3} \cdot 598,95 = 20215,75 \text{ Kč/rok} \quad (76)$$

Tab. 8.3: Celkové provozní náklady pro elektrické podlahové vytápění

Označení		Celková cena produktu (Kč)
Cena za dodávku elektřiny	Vysoký tarif	753,50
	Nízký tarif	52 247,93
Stálý měsíční plat		840,00
Sazba daně z elektřiny		1 155,66
Cena za zajištění distribuce elektřiny	Vysoký tarif	62,79
	Nízký tarif	4 851,55
Plat za jmenovitou hodnotu hlavního jističe před elektroměrem	3x40 A – 3x50 A	8 856,00
Systémové služby		3 836,56
Činnosti operátora trhu		71,16
Podpora elektřiny z podporovaných zdrojů energie (POZE)	Dle jističe	39 222,00
	Dle spotřeby	20 215,61
Celková cena provozních nákladů s DPH (Kč/rok)		92 890,77

Z POZE se započítává nižší částka, tedy dle spotřeby. Celkové pořizovací náklady do elektrického podlahového vytápění činí $N_p = 92\,890,77 \text{ Kč}$.

8.2. (a2) Tepelné čerpadlo země/voda

Tepelné čerpadlo by mělo patřit mezi nejméně náročné na spotřebu energie, tím pádem by jeho pořizovací náklady mohly být nejnižší.

8.2.1. Investiční náklady

V tabulce (viz. Tab. 8.4) je rozepsána cena za položky k vytápění. Cena byla stanovena z přímo od výrobce tepelných čerpadel NIBE. Celková cena je složena z produktu NIBE F1226-12 obsahující tepelné čerpadlo země/voda, ohřívač vody, oběhová čerpadla a řídicí systém vytápění a ohřevu TUV. Geotermální vrt je dimenzován na 205 metrů. Celková cena investice činí $N_I = 471\,155$ Kč.

Tab. 8.4: Cena produktu NIBE F1226-12

Označení	Cena (Kč)
NIBE F1226-12 (tepelné čerpadlo, ohřívač vody, oběhové čerpadla a řídicí systém)	201 250
Geotermální vrt 205 metrů (včetně jednookruhové sondy d40)	235 750
Nemrznoucí kapalina (G-SFROST L 260 litrů)	5 980
Montáž a instalační cena	14 950
Elektroinstalace	4 600
Plnicí sada primárního okruhu	2 875
Schválení instalace	5 750
Celková cena včetně DPH	471 155

8.2.2. Provozní náklady

Náklady na provoz budou opět čistě na spotřebu elektrické energie. Pro tuto variantu je určena sazba D57d, tedy ta samá co pro elektrické podlahové vytápění. Opět musím určit velikost hlavního jističe pro plat za jmenovitou hodnotu hlavního jističe před elektroměrem. Předpokládám nejhorší variantu při $-15\,^{\circ}\text{C}$ plus soudobý elektrický příkon $P_s = 13\,980$ W.

Tab. 8.5: Ceník E-ON pro sazbu D57d pro variantu a2 [29]

Označení		Jednotková cena	Jednotky
Cena za dodávku elektřiny	Vysoký tarif	2 056,00	Kč/MWh
	Nízký tarif	1 565,00	Kč/MWh
Stálý měsíční plat		70,00	Kč/měsíc
Sazba daně z elektřiny		34,24	Kč/měsíc
Cena za zajištění distribuce elektřiny	Vysoký tarif	171,34	Kč/MWh
	Nízký tarif	145,32	Kč/MWh
Plat za jmenovitou hodnotu hlavního jističe před elektroměrem	3x32A – 3x40A	494,00	Kč/měsíc
Systémové služby		113,67	Kč/MWh
Činnosti operátora trhu		5,93	Kč/měsíc
Podpora elektřiny z podporovaných zdrojů energie (POZE)	Dle jističe	21,79	Kč/měsíc
	Dle spotřeby	598,95	Kč/MWh

K tomu tepelné čerpadlo s elektrickým výkonem $P_{t\check{c}} = 3,14$ kW, se špičkovacím elektrokotlem v bivalentním provozu s tepelným čerpadlem o výkonu $P_{elk} = 2$ kW a k tomu elektrická patrona, která ohřívá TUV, o výkonu $P_{t\check{c},TUV} = 6$ kW.

$$I_{t\check{c}} = \frac{P_{t\check{c}} + P_{elk} + P_s + P_{t\check{c},tuv}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{3140 + 2000 + 13980 + 6000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,95} = 38,17 \text{ A} \quad (77)$$

Hlavní jistič před elektroměrem bude mít jmenovitou hodnotu 3 x 40 A. To znamená, že plat za jmenovitou hodnotu jističe před elektroměrem bude pro sazbu od 3 x 32 A do 3 x 40 A včetně, jehož cena je 494 Kč/měsíc.

Jak u elektrického podlahového vytápění, tak i u této varianty musím určit, které ze dvou produktů u POZE bude majitel platit (platí ten se s nižší cenou).

$$POZE_j = n_{12} \cdot L_3 \cdot I_{40} \cdot C_j = 12 \cdot 3 \cdot 40 \cdot 494 = 31337,60 \text{ Kč/rok} \quad (78)$$

$$POZE_s = E_r \cdot C_s = 10015,06 \cdot 10^{-3} \cdot 598,95 = 5998,52 \text{ Kč/rok} \quad (79)$$

Dle jističe je $POZE_j = 31\,337,60$ Kč/rok a dle spotřeby je $POZE_s = 5\,864,19$ Kč/rok. U této varianty se bude tedy platit dle spotřeby. Všechny ostatní rovnice pro výpočet jsou obdobné s rovnicemi (66) až (74). Potřebné údaje jsou v tabulce Tab. 8.5.

Tab. 8.6: Celkové provozní náklady pro NIBE F1226-12

Označení		Celková cena produktu (Kč)
Cena za dodávku elektřiny	Vysoký tarif	753,50
	Nízký tarif	15 100,01
Stálý měsíční plat		840,00
Sazba daně z elektřiny		342,92
Cena za zajištění distribuce elektřiny	Vysoký tarif	62,79
	Nízký tarif	1 402,13
Plat za jmenovitou hodnotu hlavního jističe před elektroměrem	3x32 A – 3x40 A	5 928,00
Systémové služby		1 118,41
Činnosti operátora trhu		71,16
Podpora elektřiny z podporovaných zdrojů energie (POZE)	Dle jističe	31 377,60
	Dle spotřeby	5 998,52
Celková cena provozních nákladů s DPH (Kč/rok)		31 637,45

Pro sazbu D57d platí, že vysoký tarif je v provozu 20 hodin denně a pro nízký tarif to je 4 hodiny denně. Přičemž operátor trhu může přepínat mezi tarify kdykoliv za den. Proto budu opět předpokládat poměr, že za den bude v provozu nízký tarif v poměru 20:24 a vysoký tarif 4:24.

$$VT = \frac{4}{24} \cdot E_{r,S} = \frac{4}{24} \cdot 2198,93 = 366,49 \text{ kWh/rok} \quad (80)$$

$$NT = \frac{20}{24} \cdot E_{r,S} + E_r = \frac{20}{24} \cdot 2198,93 + 7816,13 = 9648,57 \text{ kWh/rok} \quad (81)$$

$$E = E_r + E_{r,S} = 7816,13 + 2198,93 = 10015,06 \text{ kWh/rok} \quad (82)$$

Celková spotřeba elektrické energie pro oba tarify činí **10 015,06 kWh/rok**. Celková cena provozních nákladů, jež zahrnuje pouze spotřebu elektrické energie, činí $N_p = 31\,637,45 \text{ Kč/rok}$.

8.3. (a3) Mikrokogenerační jednotka

U tohoto zdroje tepla a elektřiny budu předpokládat hlavně spotřebu plynu, ale taky špičkovou spotřebu elektřiny při vyšším elektrickém příkonu.

8.3.1. Investiční náklady

Investice do mikrokogenerační jednotky bude ze všech tří variant určitě nejdražší. Samotná jednotka s příslušenstvím stojí 450 tisíc korun. Zhruba o 100 tisíc méně stojí akumulátor proudu. Celková cena investice činí $N_I = 873\,578,68 \text{ Kč}$.

Tab. 8.7: Cena mikrokogenerační jednotky

Označení	Cena (Kč)
Vitotwin 300-W (Mikrokogenerační jednotka, ohřívač TUV, akumulační nádrž)	450 224,06
Akumulátor proudu s příslušenstvím	383 354,62
Montáž a instalační cena	40 000
Celková cena včetně DPH	873 578,68

8.3.2. Provozní náklady

Náklady na provoz budou hlavně na spotřebu plynu. Spotřeba elektrické energie bude hrazena přímo mikrokogenerační jednotkou, i když majitel bude mít paralelní provoz sítě, resp. kdyby došlo k poruše, nebo k velké spotřebě, pak by majitel odebíral elektrickou energii od distributora. Sazba je určena na D01d, která je pro domácnost s malou spotřebou. Tedy i tato domácnost, která bude po celý rok energeticky soběstačná. Tato sazba nemá rozdělení tarifů na vysoký a nízký, ale pouze jednotný tarif. Hlavní jistič má hodnotu 3x25 A, spadá tedy do kategorie od 3x20 A do 3x25 A včetně.

Tab. 8.8: Ceník E-ON pro sazbu D01d pro mikrokogenerační jednotku [29]

Označení		Jednotková cena	Jednotky
Cena za dodávku elektřiny		1 572,00	Kč/MWh
Stálý měsíční plat		70,00	Kč/měsíc
Sazba daně z elektřiny		34,24	Kč/měsíc
Cena za zajištění distribuce elektřiny		2 504,72	Kč/MWh
Plat za jmenovitou hodnotu hlavního jističe před elektroměrem	3x20A – 3x25A	15,00	Kč/měsíc
Systémové služby		113,67	Kč/MWh
Činnosti operátora trhu		5,93	Kč/měsíc
Podpora elektřiny z podporovaných zdrojů energie (POZE)	Dle jističe	21,79	Kč/měsíc
	Dle spotřeby	598,95	Kč/MWh

Jak bylo již napsáno u podpory elektřiny z podporovaných zdrojů energie (POZE) se bere i tady nižší částka z položek dle jističe nebo dle spotřeby, i když bude jedna z položek nulová. Všechny složky pro výpočet ceny elektrické energie se počítají v podstatě stejně jako u podkapitoly 8.1.2, s tím rozdílem že místo vysokého a nízkého tarifu se počítá pouze jeden tarif.

Tab. 8.9: Provozní náklady na elektrickou energii pro mikrokogenerační jednotku

Označení		Jednotková cena
Cena za dodávku elektřiny		0,00
Stálý měsíční plat		840,00
Sazba daně z elektřiny		0,00
Cena za zajištění distribuce elektřiny		0,00
Plat za jmenovitou hodnotu hlavního jističe před elektroměrem	3x20A – 3x25A	180,00
Systémové služby		0,00
Činnosti operátora trhu		71,16
Podpora elektřiny z podporovaných zdrojů energie (POZE)	Dle jističe	19 611,00
	Dle spotřeby	0,00
Celková cena provozních nákladů s DPH (Kč/rok)		1 091,16

Pokud budu počítat s tím, že rodinný dům bude soběstačný, pak roční provozní náklady na elektrickou energii od distributora budou činit $N_{El} = 1\,091,16$ Kč/rok.

Další položkou u provozních nákladů jsou náklady na spotřebu plynu. Dodáván bude zemní plyn a distributorem je firma Europe Easy Energy. Sazba je dána „nad 40 000 do 45 000 MWh“. Celková spotřeba plynu mikrokogenerace byla určena z rovnice (60) $Q_{p,r} = 41\,119,12$ kWh/rok.

Tab. 8.10: Ceník plynu od firmy Europe Easy Energy [31]

Označení	Jednotková cena	Jednotky
Cena distribuce		
Cena za služby operátora trhu	2,90	Kč/MWh
Pevná cena za odebraný zemní plyn	208,94	Kč/MWh
Stálý měsíční plat	238,70	Kč/měsíc
Cena za odebraný zemní plyn a ostatní služby dodávky		
Cena za odebraný zemní plyn	964,37	Kč/MWh
Stálý měsíční plat	30,25	Kč/měsíc

Cena za služby operátora trhu:

$$OT = 2,9 \cdot E_{p,r} = 2,9 \cdot 41119,12 \cdot 10^{-3} = 119,25 \text{ Kč} \quad (83)$$

Pevná cena za odebraný zemní plyn (cena distribuce):

$$ZP_d = 208,94 \cdot E_{p,r} = 208,94 \cdot 41119,12 \cdot 10^{-3} = 8591,43 \text{ Kč} \quad (84)$$

Stálý měsíční plat:

$$SMP = 238,7 \cdot 12 = 2864,40 \text{ Kč} \quad (85)$$

Pevná cena za odebraný zemní plyn:

$$ZP_p = 797 \cdot E_{p,r} = 964,37 \cdot 41119,12 \cdot 10^{-3} = 39654,05 \text{ Kč} \quad (86)$$

Stálý měsíční plat:

$$SMP = 30,25 \cdot 12 = 1243,85 \text{ Kč} \quad (87)$$

Tab. 8.11: Provozní náklady za plyn

Označení	Jednotková cena
Cena distribuce	
Cena za služby operátora trhu (OT)	119,25
Pevná cena za odebraný zemní plyn (ZP _d)	8 591,43
Stálý měsíční plat (SMP)	2 864,40
Cena za odebraný zemní plyn a ostatní služby dodávky	
Cena za odebraný zemní plyn (ZP _p)	39 654,05
Stálý měsíční plat (SMP)	1 243,85
Celková cena provozních nákladů s DPH (Kč/rok)	59 423,71

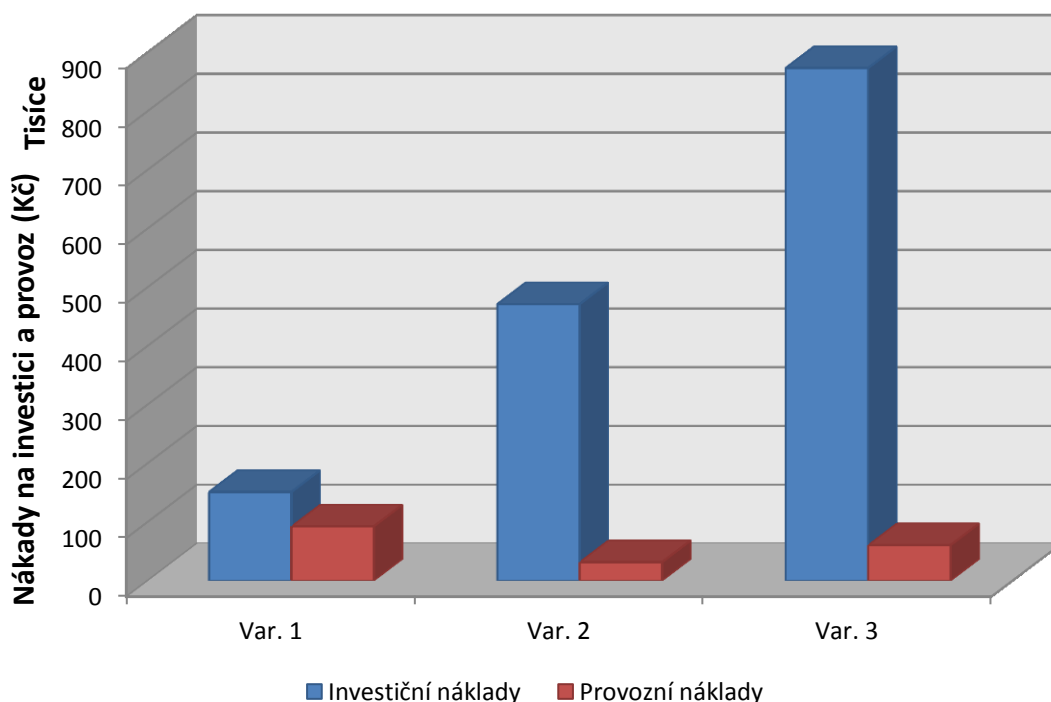
Největší cenová položka je cena za odebraný zemní plyn ZP_d . Provozní náklady na spotřebu plynu činí $N_{Plyn} = 59\,432,71$ Kč.

$$N_P = N_{El} + N_{Plyn} = 1091,16 + 59432,71 = 60514,87 \text{ Kč/rok} \quad (88)$$

Celková cena provozních nákladů na mikrokogenerační jednotku, zahrnující spotřebu elektrické energie a plynu činí $N_P = 60\,514,87$ Kč/rok.

9. Porovnání všech variant

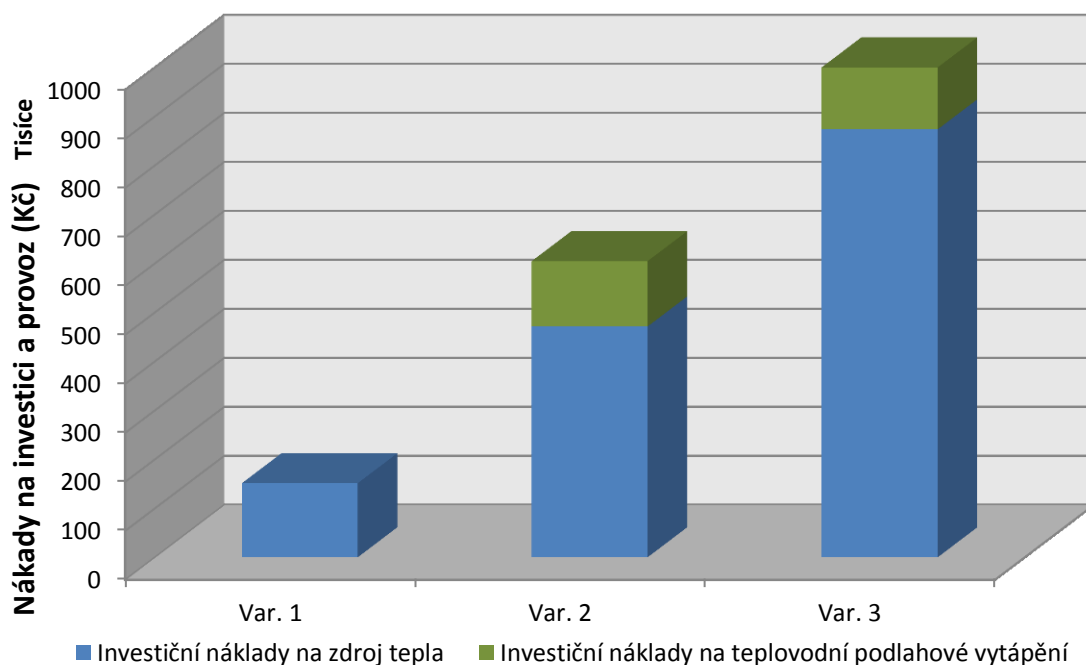
V této kapitole porovnám všechny varianty z ekonomického hlediska. Kritériem tedy bude porovnání celkových nákladů. Pokud by například existovala varianta, která by převyšovala druhou variantu z hlediska investice i provozu, jednalo by se o velmi nevýhodnou variantu z dlouhodobého hlediska. Celkové náklady zahrnují investiční náklady a roční provozní náklady. Obě finanční částky je důležité porovnat jak mezi sebou, tak hlavně s ostatními zdroji vytápění. Provedu tedy celkový součet všech nákladů od nultého roku do uvažovaného roku. Během této doby budu uvažovat bezporuchový stav všech variant. K určení uvažovaného roku, který bude mezníkem pro zdroje vytápění, tedy konečným rokem, potřebuji zjistit dobu životnosti. Podle literatury (30) u elektrického podlahového vytápění to je 30 až 50 let. U tepelného čerpadla je životnost dle výrobce 25 let. Nejmenší životnost je u mikrokogenerační jednotky, a to 20 let. Uvažovaný mezní rok bude 20 let. V grafu (viz. Obr. 9.1) lze vidět jednotlivé náklady na jednotlivé energetické zdroje, a to z hlediska investičních a provozních nákladů.



Obr. 9.1: Náklady na jednotlivé varianty zdrojů tepla

Z hlediska investice jednoznačně všechny převyšuje varianta 3, tj. mikrokogenerační jednotka, jež dosahuje necelých 900 tisíc. Za to varianta 1 je z hlediska investice, nejméně náročná. Největší náklady na provoz má varianta 1, elektrické podlahové vytápění. Ta dosahuje bezmála 100 tisíc korun za rok.

V dalším grafu (viz.Obr. 9.2) jsou varianty 2 a 3, tedy tepelné čerpadlo a mikrokogenerační jednotka, doplněny o teplovodní podlahové vytápění, jehož investice má hodnotu cca 130 tisíc korun.



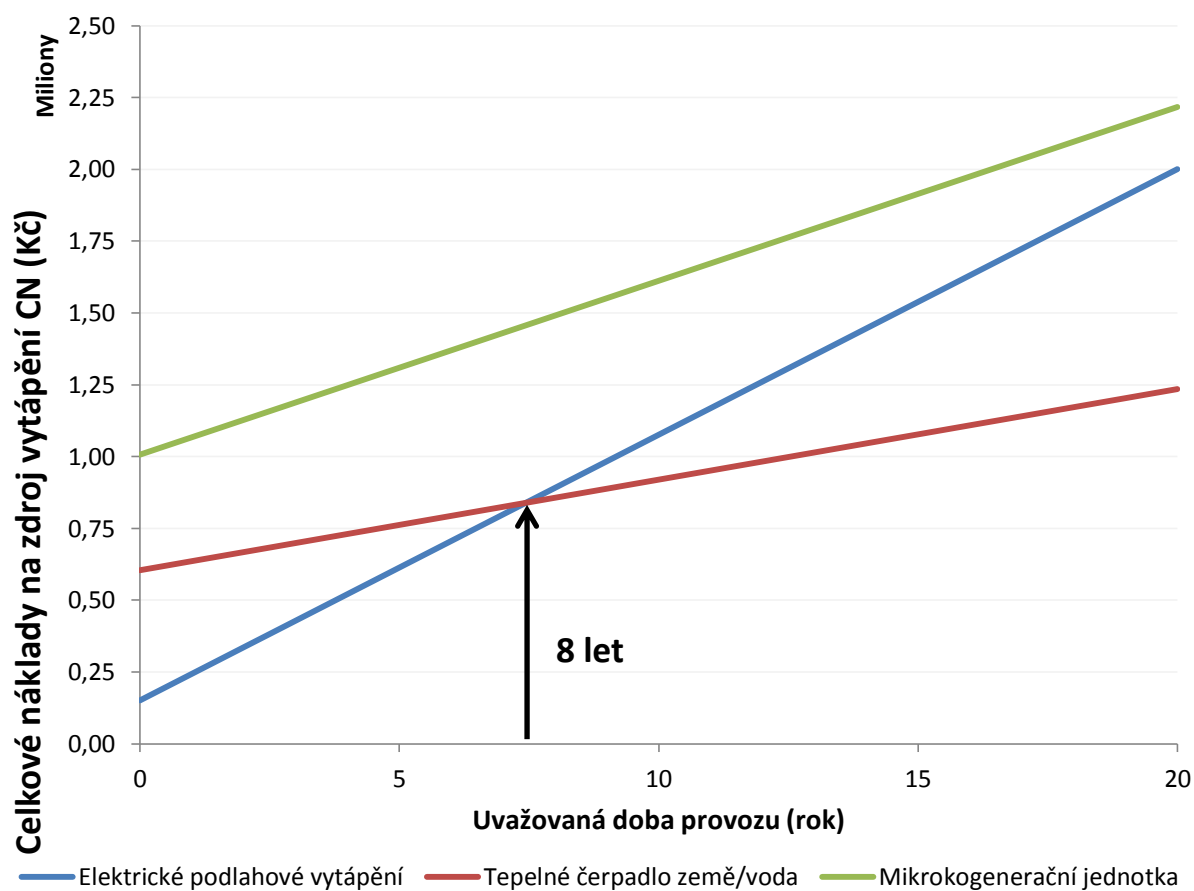
Obr. 9.2: Náklady na jednotlivé varianty zdrojů tepla, včetně teplovodního podlahového vytápění

Je patrné, že se investiční náklady zvedly jen u dvou variant, a to varianty 2 a 3. Například u tepelného čerpadla (varianta 2) se investice přehoupala přes 600 tisíc korun a u mikrokogenerační jednotky (varianta 3) dokonce přes jeden milión korun. Elektrické podlahové vytápění tento druh vytápění nepotřebuje, jelikož obsahuje topné kabely zapuštěné v podlaze.

9.1. Celkové náklady na zdroje energie

V celkových nákladech CN zahrnují investiční náklady, které se skládají z investice do zdroje energie N_I a investice do podlahového vytápění N_{pdl} a provozních nákladů na elektřinu resp. plyn a spotřebu elektrické energie pro rodinný dům N_P . Uvažovaný konečný rok bude 20 let, což odpovídá životnosti u mikrokogenerační jednotky.

$$CN = N_I + N_{pdl} + \sum_{1}^{20} N_P \quad (\text{Kč/rok}) \quad (89)$$



Obr. 9.3: Celkové náklady za 20 let

Z grafu (viz. Obr. 9.3) je patrné, že počáteční investice je nejnáročnější na mikrokogenerační jednotku, vždyť její cena se pohybuje kolem jednoho milionu korun. Za to elektrické podlahové vytápění je z hlediska investice nejlevnější. Dá se předpokládat, že čím menší je strmost křivky, tím menší jsou provozní náklady na danou variantu. Provozní náklady na variantu elektrického podlahového vytápění, které za rok činí bezmála 100 tisíc korun, výrazně převyšují provozní náklady zbylých variant. Jak vidno z grafu, tepelné čerpadlo země/voda má nejnižší provozní nároky, které činí něco málo přes 30 tisíc. Hlavně díky nim jsou celkové náklady CN za 8 let menší než u elektrického podlahového vytápění. Mikrokogenerační jednotka má celkové náklady vyšší v každém roce, než tepelné čerpadlo země/voda, navíc je také náročnější na provoz, tudíž se vůči tepelnému čerpadlu nemůže pro daný objekt vyplatit. I když mikrokogenerační jednotka i přes vysokou investici nemá nejvyšší provozní náklady, dříve než za 20 let nebude mít nižší celkové náklady než elektrické podlahové vytápění. Navíc životnost mikrokogenerační jednotky je právě 20 let a oproti elektrickému podlahovému vytápění, které má životnost až 50 let, nemá smysl tuto jednotku pořizovat.

Závěr

Tato diplomová práce se zabývá porovnáním zdrojů vytápění. Na začátku jsem zpracoval teoretickou část, jež se zabývá alternativními zdroji vytápění a následně kogenerací a podlahovým vytápěním. Praktická část se zabývá výpočtem tepelné ztráty a následným vypočítáním spotřeby elektrické energie resp. plynu. Všechny varianty jsem nakonec vzájemně porovnal z hlediska investičních a provozních nákladů.

Nejprve bylo nutné vyhodnotit tepelné ztráty rodinného domu. Ty byly zjištěny pomocí programu TECHcon 8.0 Promotion, a to pro teplovodní podlahové vytápění 10 885 W a pro elektrické podlahové vytápění 10 856 W. Z tepelných ztrát byla určena roční spotřeba energie na vytápění a ohřev TUV. V programu bylo dimenzováno i teplovodní podlahové vytápění, resp. elektrické podlahové vytápění, u kterého se uvažuje, že bude konvenčním zdrojem. Určil jsem i spotřebu elektrické energie pro rodinný dům, které činí 2198,93 kWh/rok. Každá varianta má svá specifika, výhody i nevýhody. První varianta, tedy elektrické podlahové vytápění s topnými kabely od firmy DEVI, má nejnižší investiční náklady. Za to má nejvyšší provozní náklady. Spotřeba elektrické energie činí cca. 31,553 MWh/rok. I proto jsou provozní náklady nejvyšší, i když je použita sazba D57d, která je určena přímo pro tento druh spotřeby elektrické energie. Druhá varianta přesněji tepelné čerpadlo firmy NIBE typ F1226-12 kW má nejnižší provozní náklady, a to díky nízké spotřebě elektrické energie. Vždyť spotřeba elektrické energie činí 7,816 MWh/rok. Třetí variantou je mikrokogenerační jednotka Vitotwin 300-W firmy VIESSMANN. Tato varianta je nejnáročnější, co se týče investice. Vždyť cena jednotky se pohybuje až kolem 900 tisíc. Provozní náklady jsou vyšší než u tepelného čerpadla, ale výrazně nižší než u elektrického podlahového vytápění. Výhodou této jednotky je, že zároveň vyrábí i elektrickou energii. Tím pádem se objekt stává nezávislým na vyrobené elektrické energii od distributora.

Posledním úkolem tedy bylo porovnat tyto varianty mezi sebou a zjistit, která je nejvhodnější pro daný rodinný dům. Porovná-li tepelné čerpadlo s elektrickým podlahovým vytápěním, tak celkové náklady na tepelné čerpadlo budou již za 8 let menší než na elektrické podlahové vytápění, navíc mikrokogenerační jednotka, díky svým vysokým investičním nákladům, a také vyšším provozním nákladům, bude mít v každém uvažovaném roce vyšší celkové náklady, než tepelné čerpadlo. Mikrokogenerační jednotka sice má nižší provozní náklady než elektrické podlahové vytápění, ale díky vysokým investičním nákladům bude i za 20 let finančně nejnáročnější ze všech uvažovaných zdrojů.

Ze všech poznatků a výpočtů, které jsem použil v této práci, je nejvhodnějším zdrojem vytápění pro tento dům tepelné čerpadlo země/voda od firmy NIBE. Naopak z dlouhodobého hlediska se určitě

nevyplatí jak mikrokogenerační jednotka, tak díky vysokým provozním nákladům i elektrické podlahové vytápění.

Použitá literatura

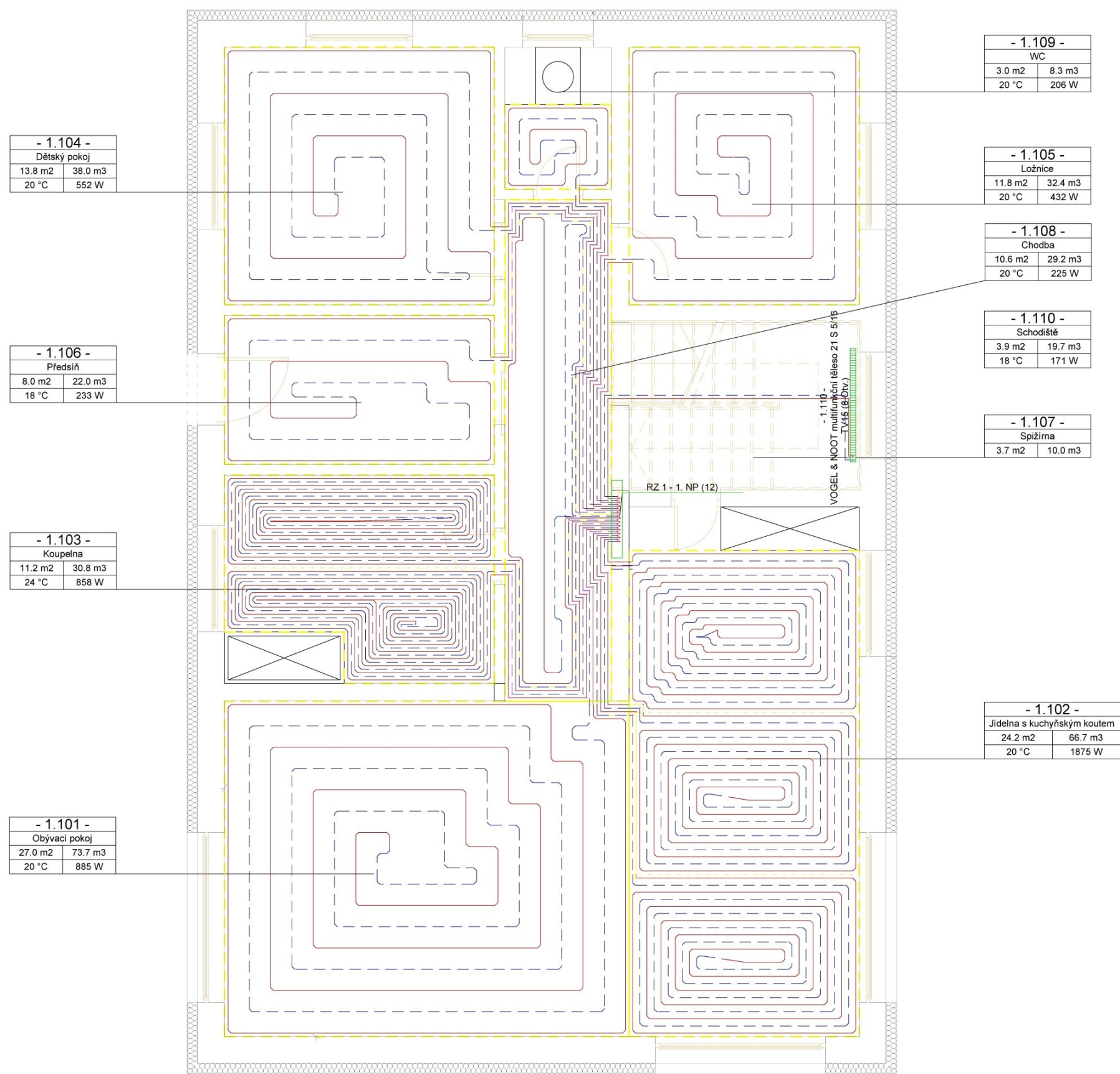
- [1] HRADÍLEK, Zdeněk, Ilona LÁZNIČKOVÁ a Vladimír KRÁL. *Elektrotepelná technika*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, 264 s. ISBN 978-80-01-04938-9.
- [2] Stirlingův motor – Wikipedie. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-12-02]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Stirling%C5%AFv_motor
- [3] Mikrokogenerační jednotky se Stirlingovým motorem - STIRLING ENERGY [online]. Brno - Bohunice: STIRLING ENERGY, 2012 [cit. 2016-12-02]. Dostupné z: <http://www.stirlingenergy.cz/>
- [4] KRBEK, Jaroslav a Bohumil POLESNÝ. Kogenerační jednotky - zřizování a provoz [online]. Praha: GAS, 2007 [cit. 2016-12-10]. GAS. ISBN 978-80-7328-151-9. Dostupné z: http://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeel1fa66875530f33e8a/Kogeneracni_jednotky_zrizovani_provoz_2220047233.pdf
- [5] O kogeneraci | ČEZ Energo. Úvod | ČEZ Energo [online]. Praha [cit. 2016-12-10]. Dostupné z: <http://www.cezenergo.cz/cs/o-kogeneraci.html>
- [6] Ekotermpraha.cz. *Ekotermpraha.cz* [online]. 2017 [cit. 2017-03-03]. Dostupné z: <http://www.ekotermpraha.cz>
- [7] OEZ LTE-10B-1 | Elektro Sychra. *Elektro Sychra* [online]. [cit. 2017-03-03]. Dostupné z: https://shop.elektro-sychra.cz/oez-lte-10-b-1/?gclid=Cj0KEQiAxeTFBRCGmlq_7rGt_r8BEiQANdPqUskiG6AdnmocvRSG0O8aofTvcRdAQXTV5UZHeOjJLEYaAvqI8P8HAQ
- [8] *Běžný topný panel H - Topné panely Hetta* [online]. [cit. 2017-03-03]. Dostupné z: <http://www.hetta.cz/cs/m-3-bezny-topny-panel-h/>
- [9] *Folie pod podlahové topení Floor Reflex - GUTTA* [online]. [cit. 2017-03-03]. Dostupné z: <https://www.guttashop.cz/folie-pod-podlahove-topeni-floor-reflex-.7976/>
- [10] POČINKOVÁ, Marcela. *Podlahové a stěnové vytápění, stropní chlazení*. Brno: ERA, 2007. Stavíme. ISBN 978-80-7366-085-7.
- [11] SMOČEK, Michal. *Návrh vytápění rodinného domu tepelným čerpadlem* [online]. Ostrava, 2011 [cit. 2017-03-09]. Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/87073/SMO121_FEI_N2649_3907T001_2011.pdf?sequence=1&isAllowed=y. VŠB-TU Ostrava.
- [12] Alternativní zdroje tepla. *Můj Dům* [online]. 2014 [cit. 2017-03-17]. Dostupné z: https://mujdum.dumabyt.cz/rubriky/stavba/alternativni-zdroje-tepla_155.html
- [13] SOLÁRNÍ ENERGIE. *Skupina ČEZ* [online]. [cit. 2017-03-17]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k22.htm>
- [14] Energie slunce - sluneční teplo, ohřev vody a vzduchu. *EkoWATT* [online]. 2007 [cit. 2017-03-17]. Dostupné z: <http://ekowatt.cz/cz/informace/obnovitelne-zdroje-energie/energie-slunce---slunecni-teplo-ohrev-vody-a-vzduchu>
- [15] MURTINGER, Karel a Jiří BERANOVSKÝ. *Energie z biomasy*. 1. vyd. Brno: Computer Press, 2011. ISBN 978-80-251-2916-6.

- [16] Biomasa. *Skupina ČEZ* [online]. [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/biomasa.html>
- [17] Energie biomasy. *EkoWATT* [online]. [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: <http://ekowatt.cz/cz/informace/obnovitelne-zdroje-energie/energie-biomasy>
- [18] Seminář Biomasa pro výrobu tepla. *TZB-info* [online]. 2009 [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/5537-seminar-biomasa-pro-vyrobu-tepla>
- [19] Vytápění pomocí biomasy. *Stavimedum* [online]. [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: <http://www.stavimedum.cz/vyt%C3%A1p%C4%9Bn%C3%AD-pomoc%C3%AD-biomasy/>
- [20] Potřeba vody a tepla pro přípravu teplé vody. *TZB-info* [online]. 2010 [cit. 2017-03-25]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/6839-potreba-vody-a-tepla-pro-pripravu-teple-vody>
- [21] Potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody. *TZB-info* [online]. [cit. 2017-03-25]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-potreba-tepla-pro-vytapani-a-ohrev-teple-vody>
- [22] *VISSMANN: Projekční návod - Vitotwin 300-W*. 2012.
- [23] Danfoss Link™ RS. *JAVORA* [online]. 2010 [cit. 2017-03-27]. Dostupné z: <http://www.podlahove-topeni.cz/cz/e-shop/centralni-bezdratova-regulace-devilink/danfoss-link-rs>
- [24] Devilink™ FT. *JAVORA* [online]. 2010 [cit. 2017-03-27]. Dostupné z: <http://www.podlahove-topeni.cz/cz/e-shop/centralni-bezdratova-regulace-devilink/devilink-ft>
- [25] Danfoss link CC WiFi. *JAVORA* [online]. [cit. 2017-03-27]. Dostupné z: <http://www.podlahove-topeni.cz/cz/e-shop/centralni-bezdratova-regulace-devilink/danfoss-link-cc-wifi-drive-devilink-cc>
- [26] NIBE: Instalační příručka, NIBE F1226 Tepelné čerpadlo země/voda.
- [27] Počasí, Vysoké Pole. *Freemeteo.cz* [online]. [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://freemeteo.cz/pocasi/vysoke-pole/historie/mesicni-historie/?gid=3062212&station=4016&month=2&year=2017&language=czech&country=czech-republic>
- [28] Metodika pro návrh tepelného čerpadla země-voda. 2012.
- [29] Ceník Elektřina k 1.1.2017. E.ON [online]. [cit. 2017-04-02]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/ke-stazeni/produkty/elektrina/cenik-elektrina-k-1-1-2017-distribucni-uzemi-cez-pdf/Cen%C3%ADk%20Elekt%C5%99ina%20k%201.1.2017%20-%20distribu%C4%8Dn%C3%AD%20%C3%BAzem%C3%AD%20%C4%8CEZ.PDF>
- [30] Nejčastější dotazy na elektrické vytápění. *V-systém, topné kabely, rohože, inteligentní kabely, NOBO, Sunnyhouse, Hetta, Mirava. LHZ* [online]. Liberec: Voráček - Topení severní Čechy, 2009 [cit. 2017-04-07]. Dostupné z: <https://www.topeni.biz/inpage/elektricke-vytapani/>
- [31] Ceníky plynu - Plyn. Europe Easy Energy [online]. Praha: Europe Easy Energy, 2016 [cit. 2017-04-11]. Dostupné z: <http://www.3-e.cz/plyn/ceniky-plynu/>

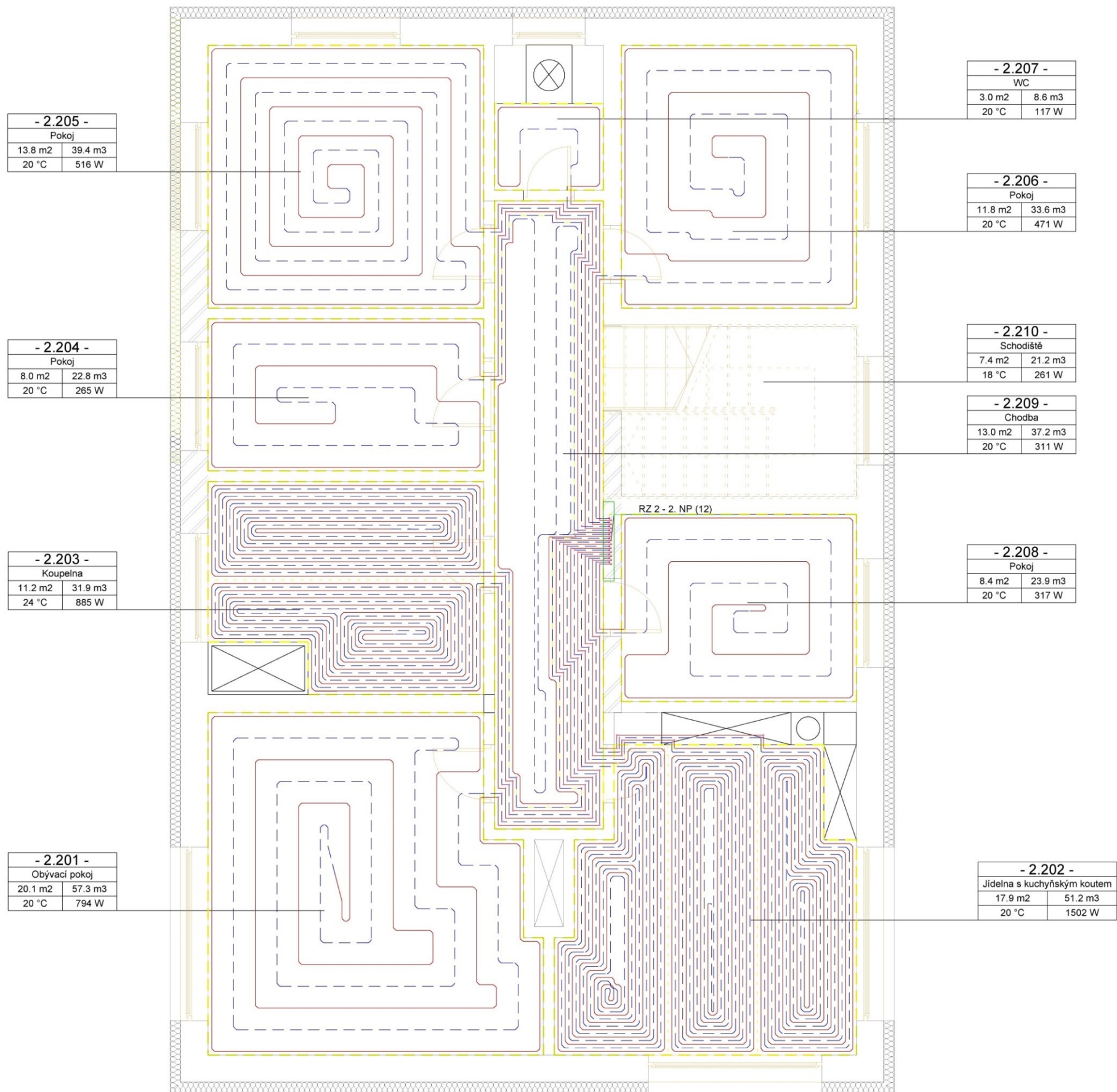
Seznam příloh

Příloha 1: Schéma teplovodního podlahového vytápění – 1.NP	2
Příloha 2: Schéma teplovodního podlahového vytápění – 2.NP	3
Příloha 3: Schéma elektrického podlahového vytápění – 1.NP	4
Příloha 4: Schéma elektrického podlahového vytápění – 2.NP	5
Příloha 5: Půdorys rodinného domu – 1.NP	6
Příloha 6: Půdorys rodinného domu – 2.NP	7
Příloha 7: Paralelní provoz sítě s akumulátorem proudu u varianty a3 [22]	8

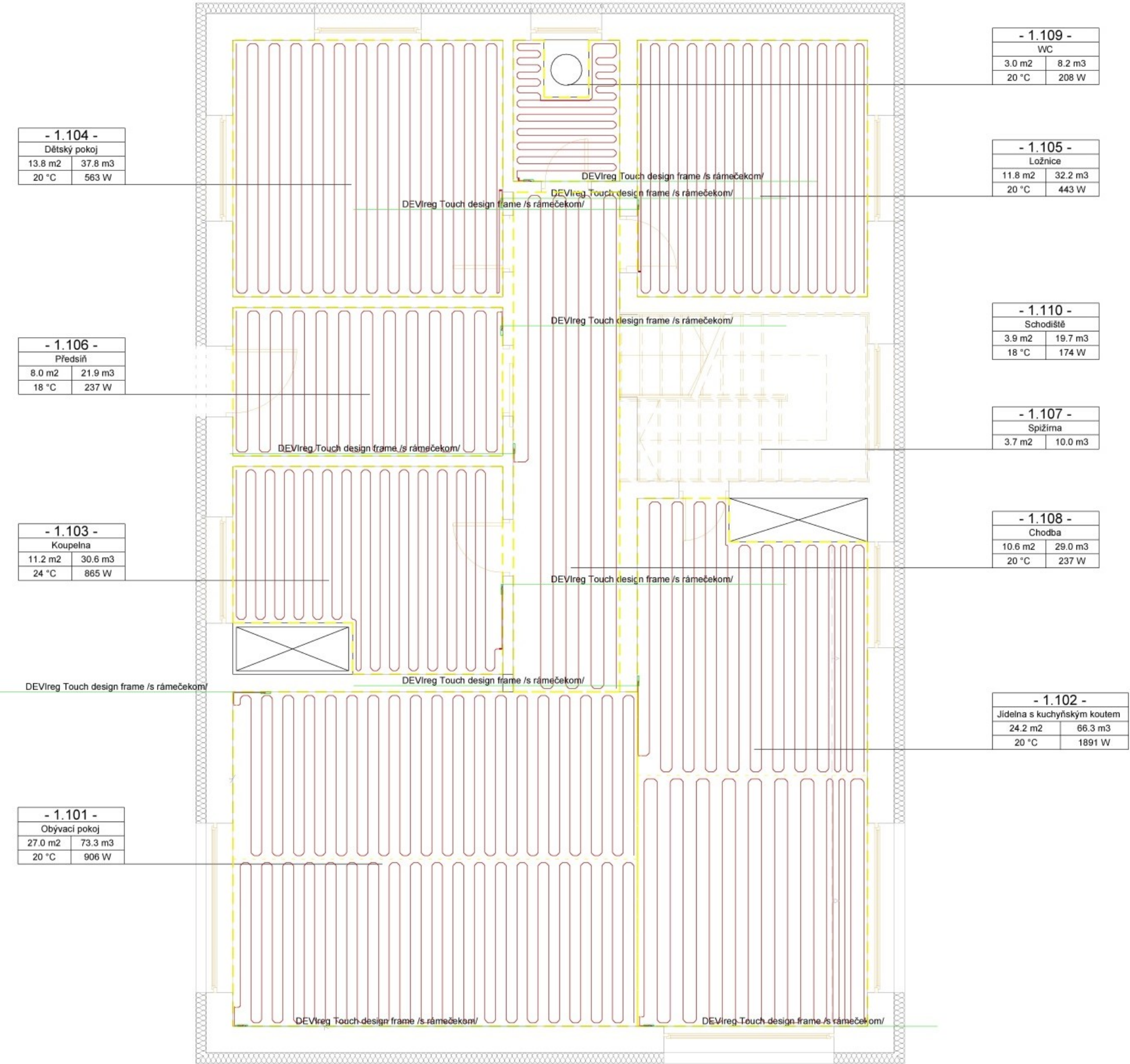
Příloha 1: Schéma teplovodního podlahového vytápění – 1.NP



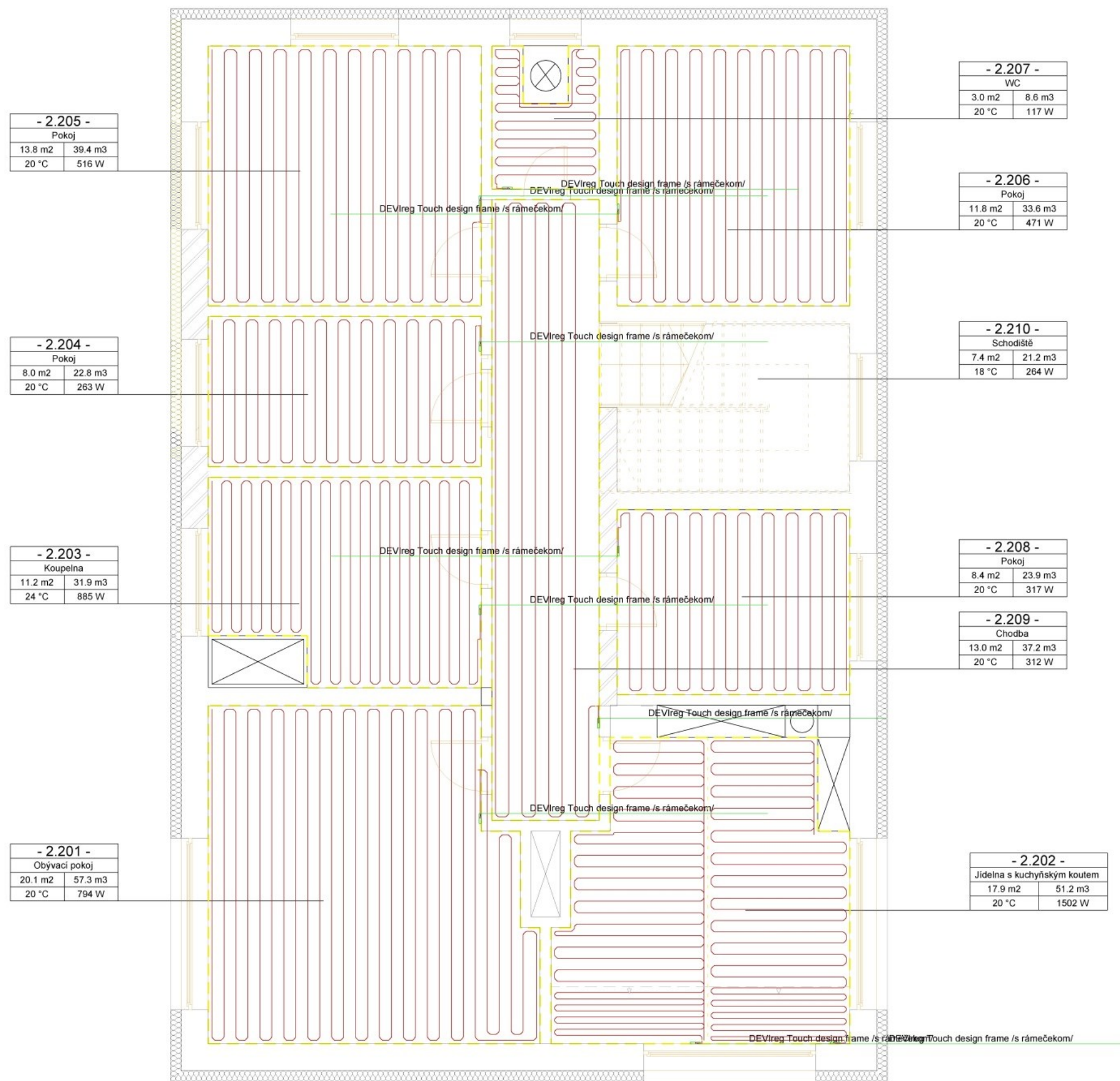
Příloha 2: Schéma teplovodního podlahového vytápění – 2.NP



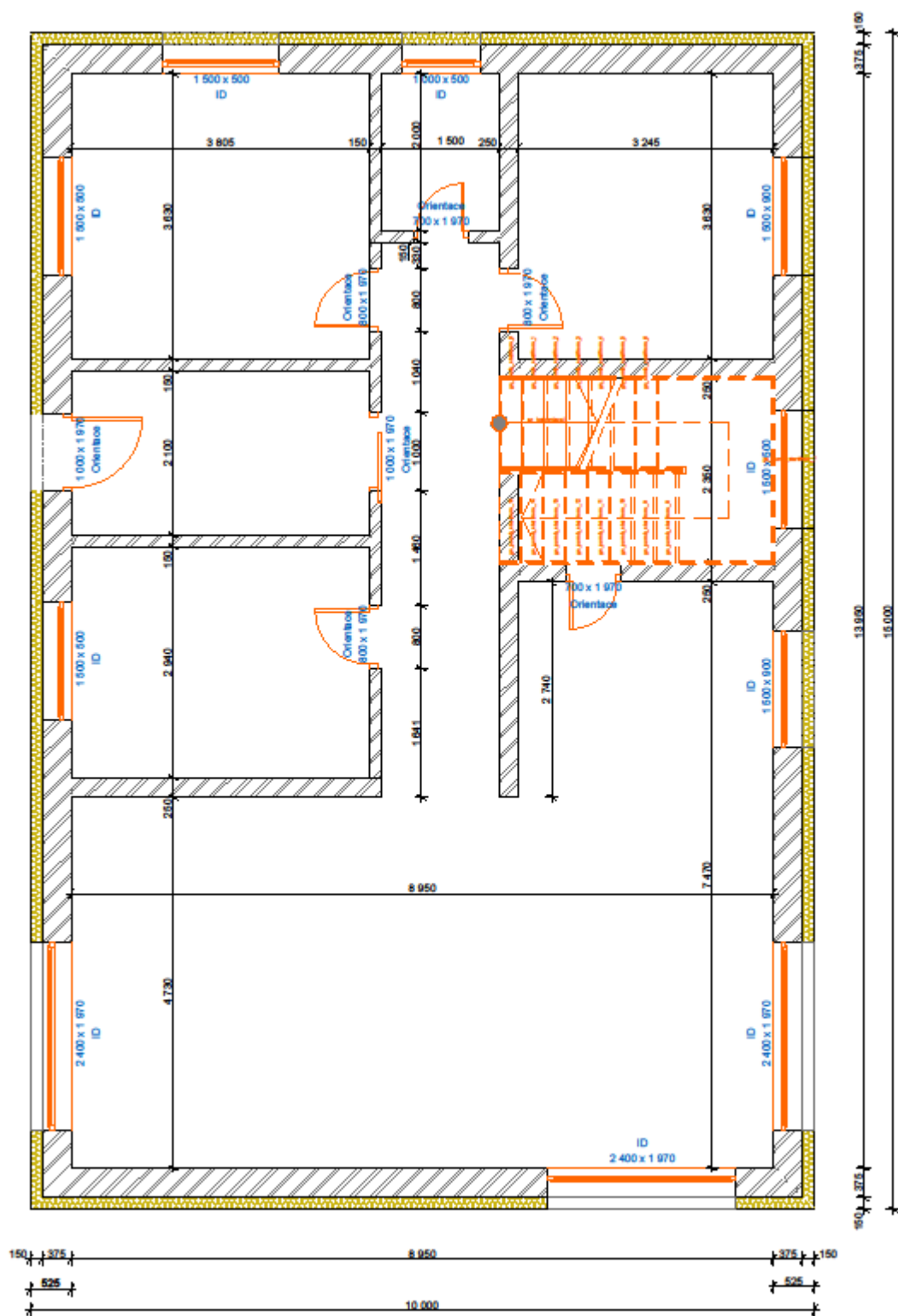
Příloha 3: Schéma elektrického podlahového vytápění – 1.NP



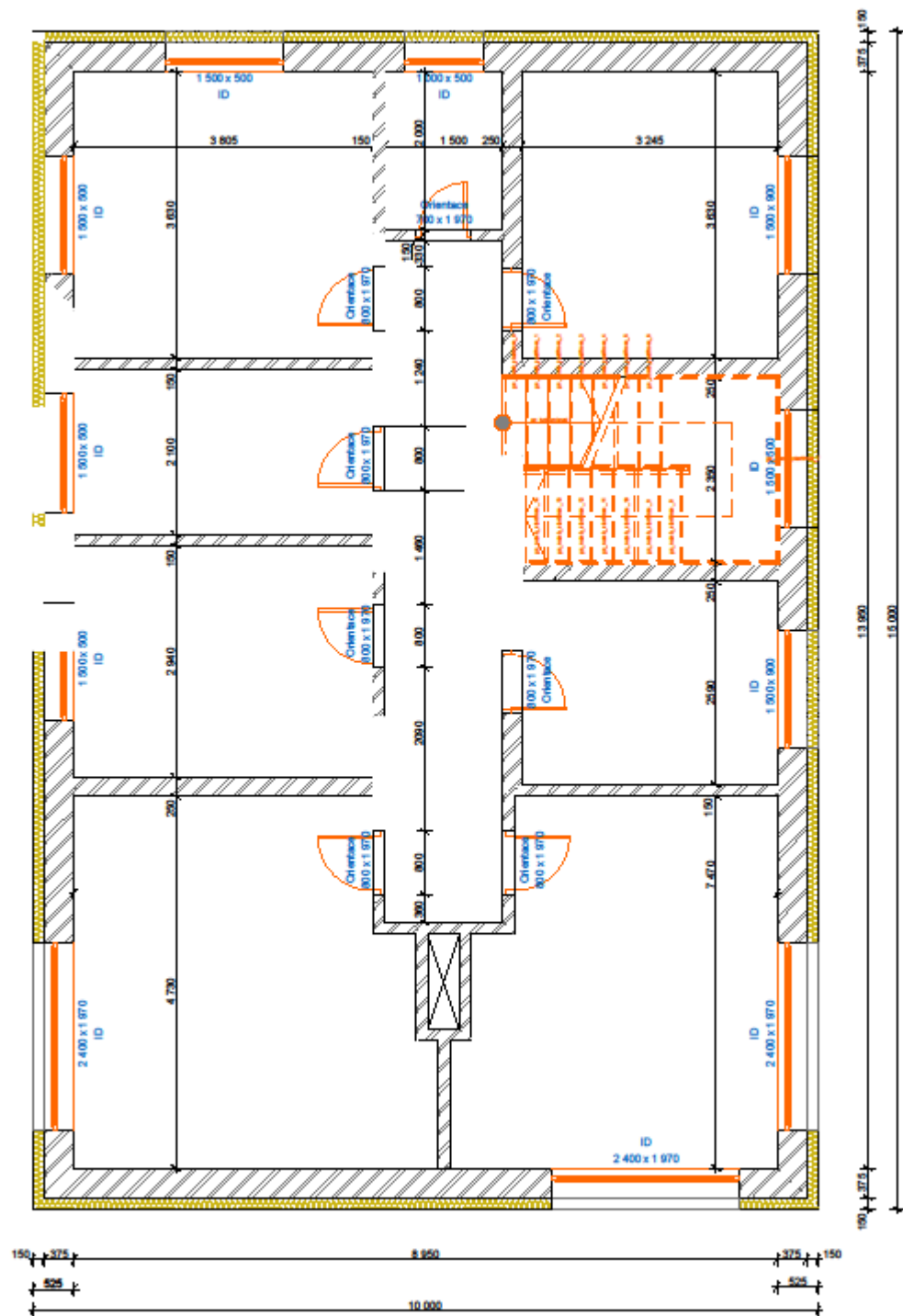
Příloha 4: Schéma elektrického podlahového vytápění – 2.NP



Příloha 5: Půdorys rodinného domu – 1.NP



Příloha 6: Půdorys rodinného domu – 2.NP



Příloha 7: Paralelní provoz sítě s akumulátorem proudu u varianty a3 [22]

- | | |
|--|----------------------------------|
| (A) Počítadlo energie akumulčního systému proudu | (H) Podružný rozvod s pojistkami |
| (B) Měníč akumulčního systému proudu | (K) Spotřebiče |
| (C) Proudový akumulátor | (L) Veřejná síť |
| (D) Reléový box | (M) Počítadlo domovní přípojky |
| (E) Rozhraní CAN-BUS | (N) Domovní přípojovací skříňka |
| (F) Vítotwin 300-W nebo Vítotwin 350-F | |

